

Aplicação das análises de ondeletas para previsão climática e na prevenção de risco climático no Estado do Ceará (Br)

Djane Fonseca da Silva

Meteorologista, Dr^a em Recursos Hídricos, Prof^a Universidade Federal do Ceará (UFC/Campus Cariri), Juazeiro do Norte, CE.
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável - PRODER, Bolsista BPI FUNCAP
djane.fonseca@cariri.ufc.br

Resumo:

Através das análises de ondeletas, concluiu-se que todas as oito macrorregiões do estado do Ceará sofrem influencia das variações e escalas sazonais, interanuais e decadais. Comprovou-se que sazonalidade, ENOS, Dipólo do Atlântico, Ciclo de manchas solares e Oscilação Decadal do Pacífico influenciam as precipitações no estado do Ceará. Assim, foi possível prever os máximos de precipitação para cada região: Região de Baturité, em 2016, 2020-2022; na Região Metropolitana de Fortaleza, em 2014 e 2024; na Região Sertão Central, em 2024; na Região Litoral Leste/Jaguaribe, em 2024 e 2027; na Região Cariri/Centro Sul, em 2018 e 2020; na Região Sertão dos Inhamuns, em 2015; na Região Litoral Oeste em 2028 e para Região Sobral/Ibiapaba, em 2030.

Palavras-chave: Oscilação decadal do Pacífico. ENOS. Dipólo do Atlântico.

Abstract:

Application of wavelet analysis for climate prediction and prevention of climate risk in the State of Ceará (BR).

Through wavelet analysis, was concluded that all eight geographical regions of the state of Ceará suffer influences of variations and seasonal scales, interannual and decadal. Proved that seasonality, ENSO, Atlantic dipole, cycle of sunspots and the Pacific Decadal Oscillation influence rainfall in the state of Ceará. Thus was possible to predict the maximum rainfall for each region: Region Baturite, 2016, 2020-2022, in the Metropolitan Region of Fortaleza, in 2014 and 2024, the Sertão Central Region, in 2024, in the East Coast Region / Jaguaribe in 2024 and 2027; Cariri Region/South Centre in 2018 and 2020, the Region of Sertão Inhamuns in 2015; West Coast Region in 2028 and Sobral / Ibiapaba in 2030.

Keywords: Pacific decadal oscillation. ENSO. Atlantic dipole.

1. Introdução

O Nordeste do Brasil (NEB) é conhecido por apresentar grande variabilidade da precipitação, ou seja, anos com secas severas ou com chuvas excessivas, que têm sido relacionadas aos padrões de anomalias de grande escala da circulação atmosférica global principalmente o fenômeno El-Niño-Oscilação Sul (ENOS).

As secas severas no NEB, objeto de inúmeros estudos por seus impactos sociais e econômicos, têm sido relacionadas à ocorrência do El Niño. Entretanto, a relação entre El Niño e as secas no NEB não é unívoca (KANE e TRIVEDI; 1988; KANE, 1992; KANE, 1997). Por exemplo, KANE (1997) mostrou que dos 46 El Niño (fortes e moderados) do período de 1849-1992, somente 21 (45%) estiveram associados à secas severas em Fortaleza, por exemplo.

As ocorrências simultâneas de El Niño e secas no NEB se limitam a alguns eventos específicos. Isso se deve ao fato de que a precipitação nessa região é também fortemente relacionada às anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSMs) do Atlântico tropical. MOURA e SHUKLA (1981) mostraram que para alguns anos, os eventos de secas do NEB estão associados a um dipolo meridional de ATSMs no Atlântico tropical. A posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) são afetadas e, por sua vez, influencia a precipitação no NEB. O modo de Dipolo do Oceano Atlântico envolve variações de TSM em ambos os hemisférios, em escalas de tempo sazonal, interanual e decenal (SERVAIN, 1991). Já CLAUZET e WAINER (1999), relacionam o Dipolo do Atlântico à escala de aproximadamente 7 anos e à escala decadal; resultados também encontrados para o Nordeste do Brasil.

KAYANO e ANDREOLI (2006) mostraram que a variabilidade de precipitação no NEB está mais fortemente relacionada com as condições do Oceano Atlântico tropical, do que com as do Pacífico tropical.

Vale lembrar que apesar da variabilidade de TSM no Oceano Pacífico ser fortemente influenciada pela variabilidade interanual associada ao ENOS, outros fenômenos de escala de tempo mais longa também atuam neste setor, como a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP).

ZHANG *et al.* (1997) separaram a variabilidade temporal do Oceano Pacífico em duas componentes: uma relacionada à escala de variabilidade interanual do ciclo ENOS, e a outra linearmente independente incluindo toda a variabilidade interdecadal. Além disso, os espectros das séries de ATSM, para os Oceanos Atlântico e Pacífico, são caracterizados por oscilações em escalas de tempo interanual e decadal, sendo a escala interanual mais pronunciada na região do Oceano Pacífico, e a decadal no Oceano Atlântico (HASTENRATH e KACZMARCZYK, 1981; SPERBER e HAMEED, 1993; MEHTA e DELWORTH, 1995).

Os efeitos combinados da ODP e do ENOS na precipitação da América do Sul foram estudados por ANDREOLI e KAYANO (2005) e DA SILVA *et al.* (2011). Estes trabalhos mostram que os efeitos do ENOS na precipitação da América do Sul podem ser acentuados ou reduzidos, dependendo se o ENOS e a ODP estão na mesma fase ou em fases opostas.

De forma independente, as multi-escalas da variabilidade temporal da série da precipitação de Fortaleza foram analisadas (MARKHAM, 1974; CHU, 1984; HASTENRATH e KACZMARCZYK, 1981; ANDREOLI *et al.*, 2004). No entanto, no estado do Ceará, que enfrenta em alguns anos a problemática da escassez hídrica e de abastecimento em municípios importantes do NEB, esse tipo de estudo ainda não foi realizado. Deste modo, um trabalho mais detalhado das variações pluviométricas deste estado, reveste-se de importância quando analisados os impactos do clima

em áreas de interesse sócio-econômico e ambiental. É através de estudos como o presente, que se torna possível conhecer os problemas de uma região e ao mesmo tempo tentar solucioná-los ou minimizá-los por meio de planejamento de ações nos setores social, econômico e ambiental. O presente estudo será muito útil para o desenvolvimento regional através da gestão dos recursos hídricos e naturais locais, somando-se à compreensão dos mecanismos geradores de precipitação, da sua variabilidade espaço-temporal e dos seus efeitos que, ora afetam as atividades agrícolas e consequentemente a população da região, que ganhará no sentido de planejar suas atividades e reduzir perdas. Ganha destaque também, esse tipo de estudo na área de Risco climático e Previsão climática.

Para tanto, as variações da precipitação no estado do Ceará serão estudadas utilizando a Análise de Ondaleta (AO), que é uma técnica apropriada para determinar as escalas de variabilidade dominantes em uma série temporal, bem como suas localizações no tempo. Nos últimos anos esta técnica tem sido bastante usada em meteorologia, por exemplo, nos trabalhos de WENG e LAU (1994), TORRENCE e WEBSTER (1999), ABREU SÁ *et al.* (1998), VITORINO (2003), TUCCI e BRAGA (2003), SCHNEIDER *et al.* (2005), ANDREOLI *et al.* (2004), ANDREOLI e KAYANO (2005), LABAT *et al.* (2005), DA SILVA (2009), DA SILVA *et al.* (2010), dentre outros. Sua aplicabilidade na análise de sinais se deve principalmente porque permite decompor uma série temporal em diferentes níveis de resolução tempo-frequência e, então determinar, as componentes da variabilidade dominante (GU e PHILANDER, 1995; TORRENCE e COMPO, 1998; BARBOSA *et al.*, 2004 dentre outros).

Assim, o objetivo do presente trabalho é, através da AO, estudar a variabilidade pluviométrica das oito (8) macrorregiões do estado do Ceará, examinando aspectos da variabilidade pluviométrica de cada região, bem como determinando as escalas temporais dominantes e ciclos, gerando previsão climática e de risco climático.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O Estado do Ceará (Figura 1) é uma das 27 unidades federativas do Brasil. É o décimo segundo estado mais rico do país. Está situado na Região Nordeste e tem por limites o Oceano Atlântico a norte e nordeste, Rio Grande do Norte e Paraíba a leste, Pernambuco a sul e Piauí a oeste. Sua área total é de 146.348,30 km² ou 9,37% da área do Nordeste e 1,7% da superfície do Brasil (CEARÁ, 2008).

A capital e maior cidade é Fortaleza, sede da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Outras cidades importantes fora da RMF são: Juazeiro do Norte e Crato na Região Metropolitana do Cariri, Sobral na região noroeste, Itapipoca na região norte, Iguatu na região centro-sul e Quixadá no sertão. Ao todo são 184 municípios.

O estado está no domínio da Caatinga, com período chuvoso restrito a cerca de quatro meses do ano e alta biodiversidade adaptada. A sazonalidade característica desse bioma se reflete em uma fauna e flora adaptadas às condições semi-áridas. As regiões mais áridas se situam na Depressão Sertaneja, a oeste e sudeste. Próximo ao litoral, a influência dos ventos alísios propicia um clima subúmido, onde surge vegetação mais densa, com forte presença de carnaubais, os quais caracterizam trechos de mata dos cocais. O clima também se torna



Figura 1
Estado do Ceará destacado em relação ao Brasil.
Fonte: Ceará, 2008.

subúmido, com caatinga mais densa e maior pluviosidade, nas adjacências das chapadas e serras (CEARÁ, 2008).

O clima do Ceará é marcado pela aridez. As secas são periódicas, e, desde que a ocupação territorial foi consolidada, a população tenta resolver o problema da escassez de água (CEARÁ, 2008).

2.2 Dados

Serão utilizados dados de precipitação mensal para as oito macrorregiões do estado do Ceará: 1- Região Metropolitana de Fortaleza (RMF); 2- Litoral Oeste; 3- Sobral/Ibiapaba, 4- Baturité; 5- Sertão dos Inhamuns; 6- Sertão Central; 7- Litoral Leste/Jaguaribe e 8- Cariri/Centro Sul.

Todos os dados foram obtidos através da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e seus períodos são de 1974 a 2008.

2.3 Análise de Ondeletas (AO)

O termo ondeleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas geradas por dilatações (a) e translações (b) de uma função simples $\psi(t)$ de variável real t , algumas vezes chamada de ondeleta-mãe. As funções derivadas da ondeleta-mãe são denominadas ondeletas filhas, ou simplesmente ondeletas (WENG e LAU, 1994; TORRENCE e COMPO, 1998). Esta função deve ser quadraticamente integrável dentro de um intervalo real, ou espaço $[L^2(R)]$, ou seja, deve apresentar energia finita. Define-se matematicamente a função ondeleta numa escala a e posição b , onde a e b são valores reais, e $a > 0$, como sendo:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(t - \frac{b}{a}\right) \quad (1)$$

A transformada em ondeletas contínua da função (t) f é definida pela seguinte equação:

$$(W \psi f)(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \Psi(t - b/a) dt \quad (2)$$

Em que: $f(t)$ é a função que constitui a série de dados a ser analisada. O termo $1/\sqrt{a}$ é utilizado para normalizar a energia de cada ondeleta.

A ondeleta Morlet é complexa e possui características semelhantes às de sinais meteorológicos, tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave. Segundo a literatura, este é um critério para escolha da função ondeleta (H. WENG e K. LAU, 1994; P. MORETTIN, 1999).

A função de Morlet é dada pela seguinte expressão:

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (3)$$

Em que: t é o tempo, s é a escala da ondeleta e ω_0 é uma frequência não dimensional. Todos esses parâmetros são introduzidos no “script” de programação do Software Matlab.

Pode-se então variar a “escala” da ondeleta mudando sua largura. Esta é a vantagem real da AO. Ondas Morlet apresentam alta frequência enquanto gaussianas apresentam baixa frequência. Para a determinação de ciclos curtos ou longos modifica-se o tipo da onda para Morlet ou Gaussiana, respectivamente.

A maneira de mudar o tamanho total das ondeletas em relação ao tempo, as chamadas “as ondeletas escaladas” é representada como:

$$\varphi[(n' - n) \delta t / s] = (\delta t / s)^{1/2} \varphi_0[(n' - n) \delta t / s] \quad (4)$$

Em que: s é o parâmetro de “dilatação” usado para mudar a escala, e n é o parâmetro de transformação no tempo. O fator de $s^{-1/2}$ é uma normalização para manter a energia total da Wavelet. A transformação do conjunto da onda é dada por:

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \varphi^*[(n' - n) \delta t / s] \quad (5)$$

Em que: o asterisco (*) denota o complexo conjugado de φ . A integral acima pode ser utilizada para valores de escalas (desde alta frequência até a mais baixa). Um retrato bidimensional da variabilidade pode então ser construído traçando a amplitude e a fase da Ondeleta.

Será gerado um índice normalizado no intuito de extrair a variabilidade sazonal, tratar os dados “brutos” e destacar as anomalias. O índice de precipitação (Prp) para cada uma das oito macrorregiões do estado do Ceará será calculado para todo o período de 1974 a 2008 e se referem à média das estações de cada região, de suas anomalias mensais de precipitação normalizadas pelos respectivos desvios-padrão mensais, calculadas através de (DA SILVA, 2009; DA SILVA et al., 2010):

$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - \overline{Var_i}) / \sigma_i \quad (6)$$

Em que: $AVar_{i,j}$ é a anomalia normalizada da precipitação no ano $j = 1, 2, 3, \dots, N$ e mês $i = 1, 2, 3, \dots, 12$; $Var_{i,j}$ é a precipitação no ano $j = 1, 2, 3, \dots, N$ e mês $i = 1, 2, 3, \dots, 12$; e são a média climatológica e o desvio padrão do mês i .

O uso de um índice de precipitação é justificado pelo fato de que a variabilidade de precipitação na região NEB tem sinal homogêneo, como mostrado e utilizado por diversos autores (KOUSKY e CHU, 1978; ACEITUNO, 1988; ANDREOLI et al., 2004). Os índices de precipitação acima descritos foram submetidos à análise de ondeletas.

3. Resultados e Discussão

Abaixo tem-se os resultados encontrados pelas análises de ondeletas. A escala sazonal foi significativa estatisticamente em todas oito regiões. (Figuras 3b, 5b, 7b, 9b, 11b, 13b,

15b, 17b). No entanto, todas as regiões apresentaram em suas séries as presenças de escalas sazonais a decadais.

As regiões de Baturité (Figuras 2, 3a e 3b), Região Metropolitana de Fortaleza (Figuras 4, 5a e 5b), Sertão Central (Figuras 6, 7a e 7b), e Litoral leste/Jaguaribe (Figuras 8, 9a e 9b) tem suas séries temporais de precipitação dominadas pela escala decadal de 20,2-22 anos, seguida pela escala de 11 anos. Isso significa que variações climáticas com esse período de ocorrência exercem a maior influência ao longo da série.

Segundo a literatura, citados em DA SILVA (2003), períodos de aproximadamente 21 anos, podem estar relacionados com ciclos de atividade solar, variações de atração gravitacional entre Terra-Lua-Sol ou variações internas do sistema Terra-oceano-atmosfera. Já os de 11 anos são associados ao ciclo de manchas solares (KERR, 1996 e MOLION, 2005).

A partir da informação que esses ciclos acima citados têm influência sobre a precipitação dessas regiões, fica mais fácil prever o comportamento de tal variável diante das do acompanhamento climático.

Na região de Baturité (Figuras 2 e 3) a escala decadal de 20,2 - 22 anos é a escala dominante na série, seguida pelas escalas de 11 anos, pelas escalas de 3 e 7 anos ligadas ao ENOS e pela escala interanual de 1-2 anos; no entanto, de acordo com CLAUZET e WAINER (1999), a escala de 7 anos também está associada ao Dipolo do Atlântico. A escala sazonal apresentou a maior significância estatística (Figura 3b).

A união das escalas sazonal, interanual, escalas de 3 e 7 anos ligadas ao ENOS e escalas decadais, no ano de 2000, por exemplo, ocasionou o aumento na precipitação local (Figuras 2 e 3a). Um ciclo de 20,2-22 anos foi encontrado na série do índice de Prp (Figura 2) e um ciclo menor de 12 anos. O ciclo maior iniciou em 1980 com final em 2000-2002; sendo esses anos marcados por grandes eventos de chuva. Esse ciclo é resultado da escala dominante de

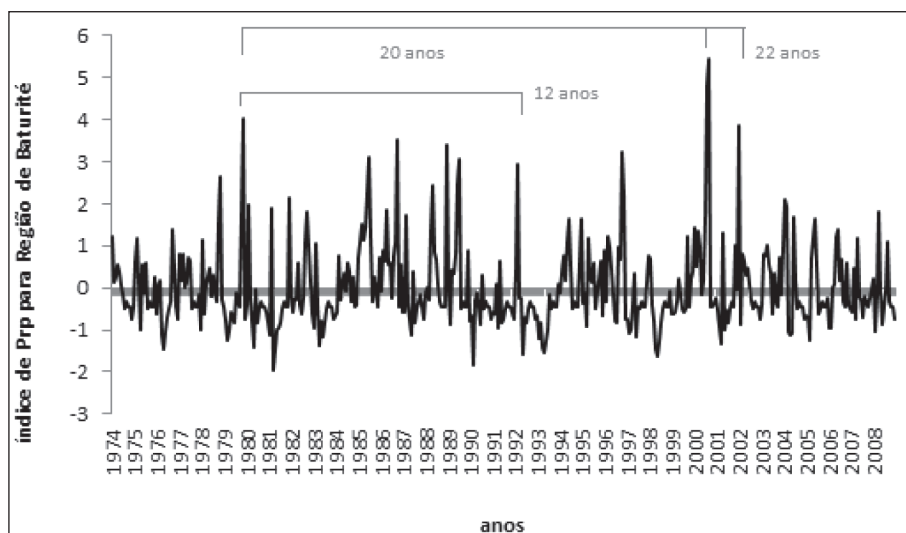


Figura 2

Índice de precipitação (Prp) para Região de Baturité normalizado pelo desvio padrão.

20,2-22 anos associada à escala decadal da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e o ciclo de aproximadamente 12 anos é resultante da escala de 11 anos ligada ao ciclo de manchas solares. Desta forma, eventos de mesma intensidade, de acordo com as análises de ondeletas, ocorrerão nos anos de 2016 (ciclo de 12 anos) e nos anos de 2020 e 2022 (ciclo de 20,2-22 anos).

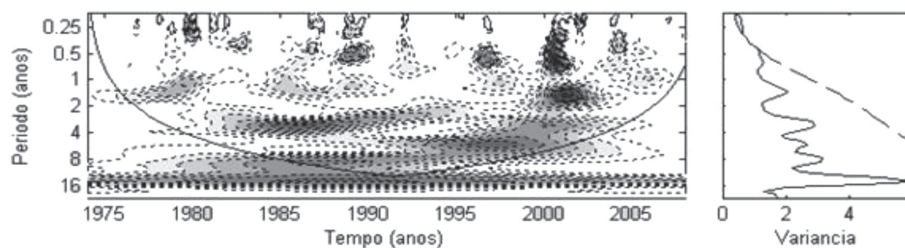


Figura 3

a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região de Baturité. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Para a Região Metropolitana de Fortaleza (Figuras 4 e 5) a escala decadal de 20,2 - 22 anos também é a escala dominante na série, seguida pelas escalas de 11 e 7 anos ligadas ao ciclo de manchas solares e ao ENOS, respectivamente (Figura 5a e 5b). A escala sazonal também apresentou a maior significância estatística (Figura 5b). A união das escalas sazonal, interanual, escala de 7 anos ligada ao ENOS e escalas decadais, nos anos de 1986 e 2000, ocasionaram aumento na precipitação local (Figuras 4 e 5a). O ciclo de aproximadamente 20 anos ocorreu de 1984-2004 e o menor ciclo de 10 anos, de 1984 a 1994, resultantes das escalas decadais

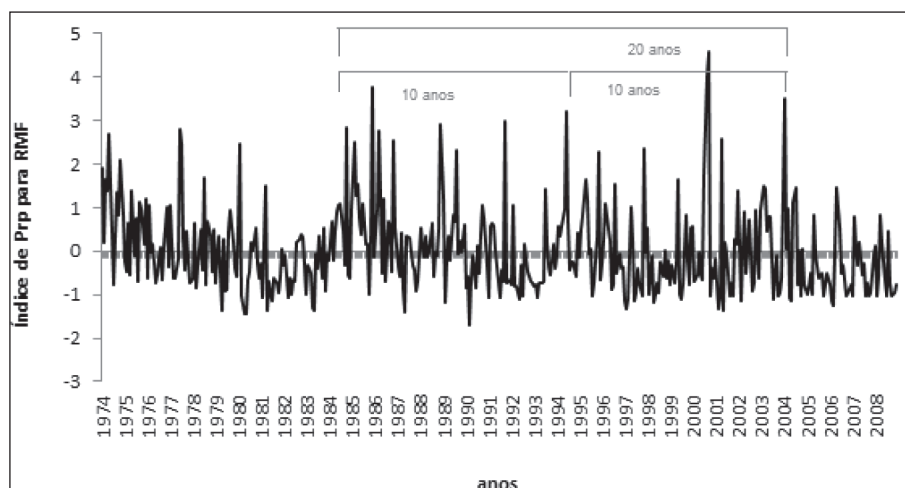


Figura 4

Índice de precipitação (Prp) para Região Metropolitana de Fortaleza normalizado pelo desvio padrão.

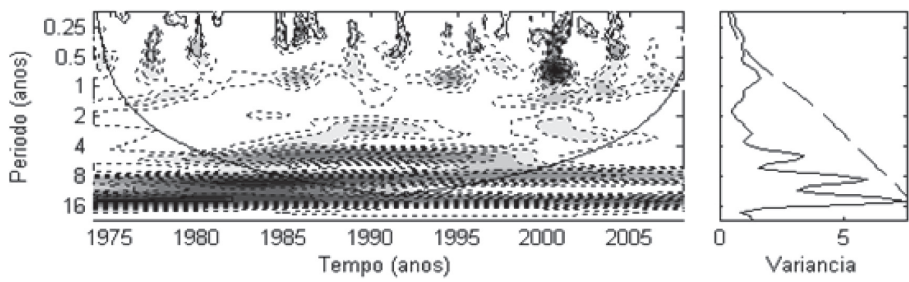


Figura 5
a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Metropolitana de Fortaleza. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

dominantes sobre a precipitação. É possível prever, a partir das análises de ondeletas, que em 2014 e 2024, na RMF, ocorram anos chuvosos e aumento no índice de Prp.

No Sertão Central (Figuras 6, 7a e 7b), as escalas decadais, a influência da escala sazonal e a junção da ocorrência de sistemas e fenômenos meteorológicos de escalas diferentes interferem sobre a precipitação em 1980, 1985 e 2001 e aumentam os valores de Prp nesses anos. De acordo com ciclos e escalas dominantes encontrados na AO, os eventos extremos podem repetir-se em 2024 nessa região (22 anos após 2002).

Por fim, sob a mesma influência das escalas decadais associadas e com significativa influência da escala sazonal, a Região do Litoral Leste/Jaguaribe (Figuras 8, 9a e 9b) também apresentou o mesmo comportamento das Regiões do Sertão Central, Baturité e Região Metropolitana de Fortaleza. A associação das distintas escalas temporais ocorreu visivelmente nos anos de 1977 e 2002 (marcados por linha vermelha). O ciclo de 20,2 - 22 anos observado nas

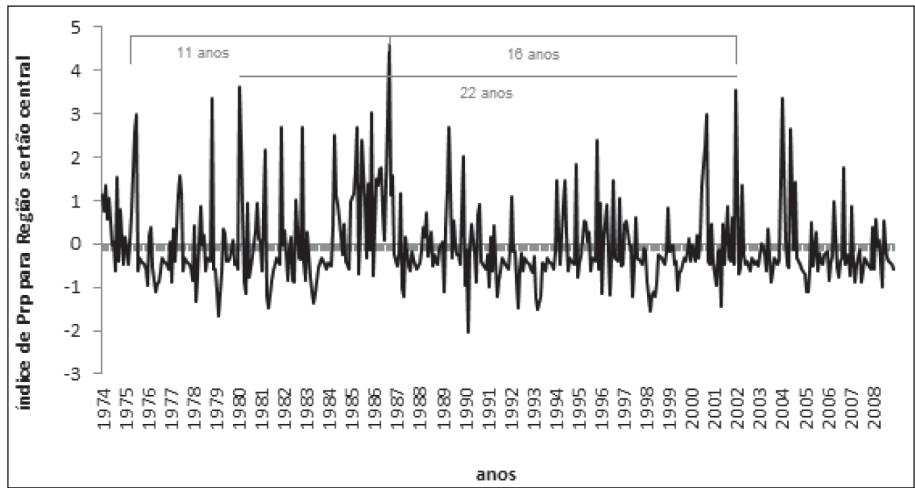


Figura 6
Índice de precipitação (Prp) para Região Sertão Central normalizado pelo desvio padrão.

Aplicação das análises de ondeletas para previsão climática
e na prevenção de risco climático no Estado do Ceará (Br)

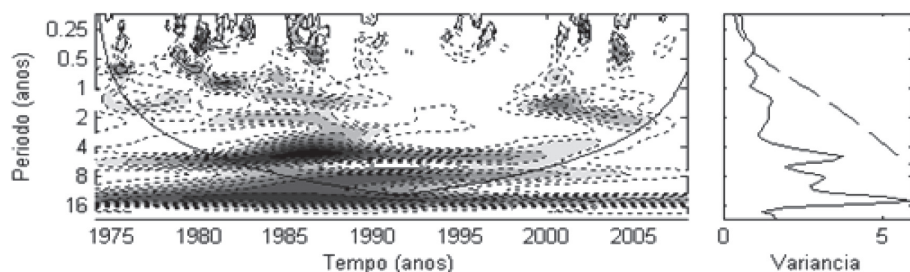


Figura 7

a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Sertão Central. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

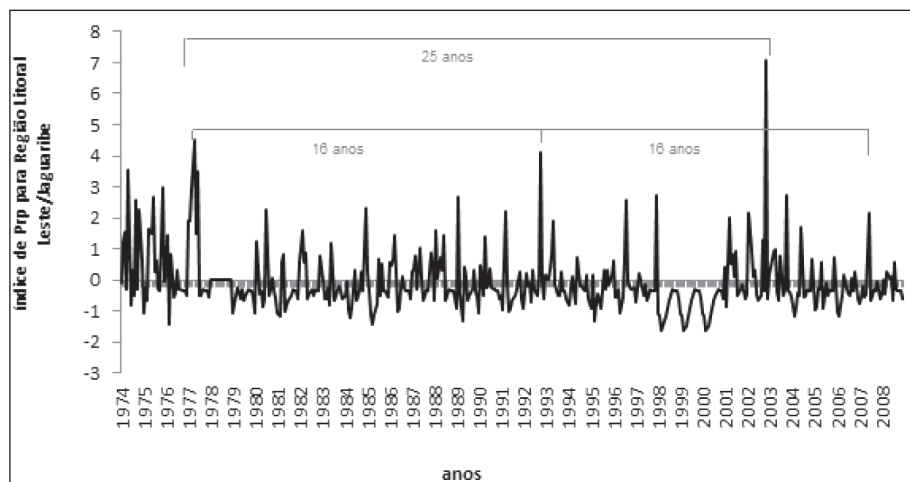


Figura 8

Índice de precipitação (Prp) para Região Litoral Leste/ Jaguaribe normalizado pelo desvio.

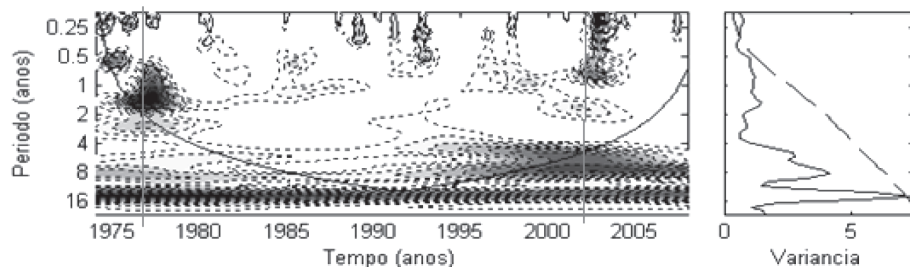


Figura 9

a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Litoral Leste /Jaguaribe. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

três regiões anteriores apresentou resposta na série de precipitação, um ciclo de 25 anos e com menor ocorrência de máximos de Prp no decorrer do ciclo. Um ciclo secundário de 16 anos foi verificado dentro do ciclo de 25 anos. O ciclo de 16 anos também foi visualizado no EPG e na série de Prp, com máxima significância estatística. Desse modo, máximos de Prp são esperados para 2024- ciclo de 16 anos e 2027- ciclo de 25 anos.

As regiões Cariri/Centro Sul e Sertão dos Inhamuns apresentaram em comum as escalas dominantes de 7 e 11 anos (Figuras 11a, 11b, 13a e 13b). Como citado anteriormente a escala de 7 anos é ainda sinal persistente de ENOS e ligada ao Dipolo do Atlântico, e a escala de 11 anos está ligada ao ciclo de manchas solares.

A região Cariri/Centro Sul (Figuras 11a e 11b) mostrou ocorrência de escala de 22 anos, sem significância estatística e de escala sazonal, com maior significância estatística. A união das escalas temporais com períodos diferentes resultaram em altos índices de Prp na região nos anos de 1977, 1994-95, 2000 e 2002 (Figura 10).

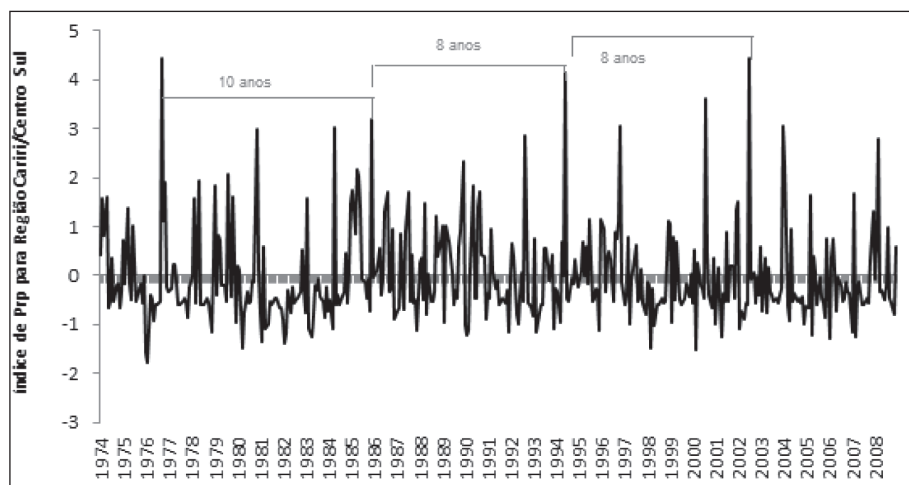


Figura 10

Índice de precipitação (Prp) para Região do Cariri/Centro Sul normalizado pelo desvio padrão.

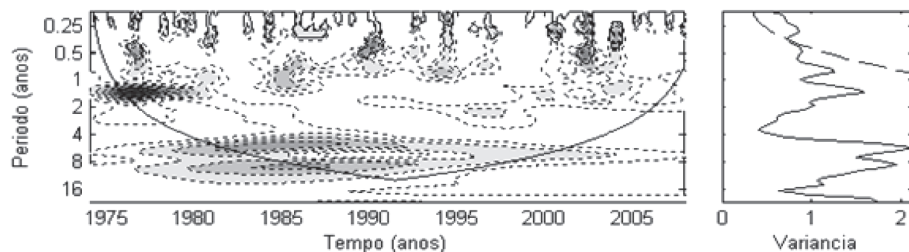


Figura 11

a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região do Cariri/Centro Sul. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Percebe-se que em decorrência das escalas dominantes de 7 e 11 anos (Figura 11b), altos índices de Prp ocorreram em ciclos ou intervalos de 8 e 10 anos como observado na Figura 10a) - de 1976 a 1986, intervalo de 10 anos; de 1986 a 1994, intervalo de 8 anos e de 1994 a 2002, outro intervalo de 8 anos; sendo todos esses anos marcados por fortes chuvas. O último ciclo que iniciou em 2002 teria seu fim em 2010, ano realmente chuvoso no Nordeste do Brasil. Os próximos máximos de Prp segundo as análises de ondeletas, serão em 2018 e 2020.

Já na região do Sertão dos Inhamuns (Figuras 13a e 13b) escala decadal influenciou a série de precipitação e a escala interanual de 1-2 anos foi vista (Figuras 11a e 11b).

A escala sazonal também apresentou a maior significância estatística. Nessa região, a união das escalas temporais com períodos diferentes (Figura 13a) resultaram em altos índices de Prp nos anos de 1976, 1985, 1990, 1996 e 2004 (Figura 12). Diante dos ciclos identificados pelas AO, prevê-se que outro máximo de Prp ocorrerá em 2015 na região do Sertão dos Inhamuns, já que o fim do ciclo de 20 anos inicia em 1995.

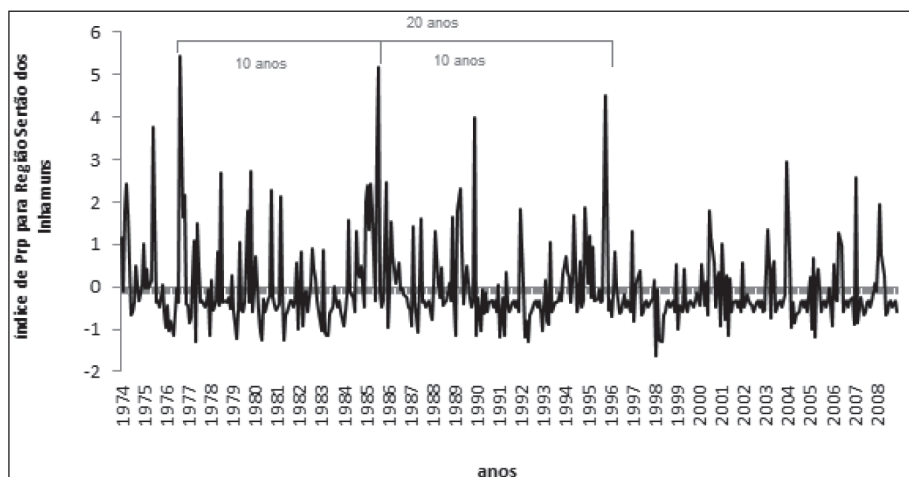


Figura 12

Índice de precipitação (Prp) para Região Sertão dos Inhamuns normalizado pelo desvio padrão.

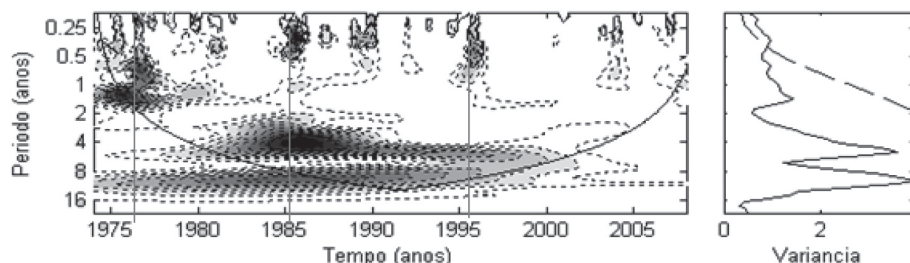


Figura 13

a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Sertão dos Inhamuns. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Na região Litoral Oeste a escala decadal de 22 nos foi a escala dominante, visível em toda a série e com a maior significância (Figuras 15a e 15b). Assim, o Litoral Oeste sofre a influência da Oscilação Decadal do Pacífico e com seu acopanhamento, é possível prever variações pluviométricas. Na Região Litoral Oeste, a escala temporal de 7 anos mostrou-se no período de 1980 a 1990, e a escala sazonal em alguns anos ao longo da série. Eventos de aumento na precipitação ocorridos em 1975, 1985, 1987, 1990, 1996, 1998, 2000, 2004 e 2008 ocorreram em decorrência da associação da escala sazonal com as demais (Figura 14). É esperado máximo de precipitação (Prp) em 2028.

Na região de Sobral/Ibiapaba a escala decadal de 22 anos também mostrou-se dominante, com significância estatística e persistente (Figura 17a e 17b). A partir do ano de 1983 a escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipólo do Atlântico se pronuncia (Figura 17a) , o que influencia na maior variabilidade pluviométrica da série a partir desse ano (Figura 16).

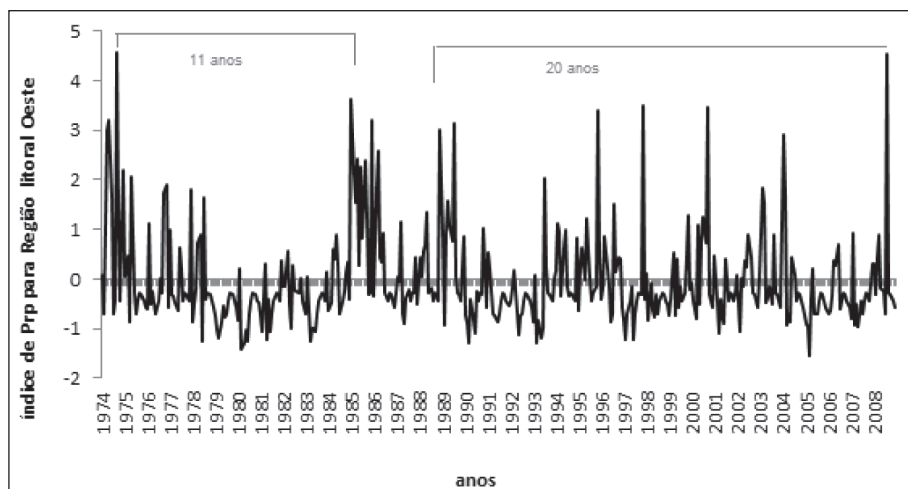


Figura 14

Índice de precipitação (Prp) para Região Litoral Oeste normalizado pelo desvio padrão.

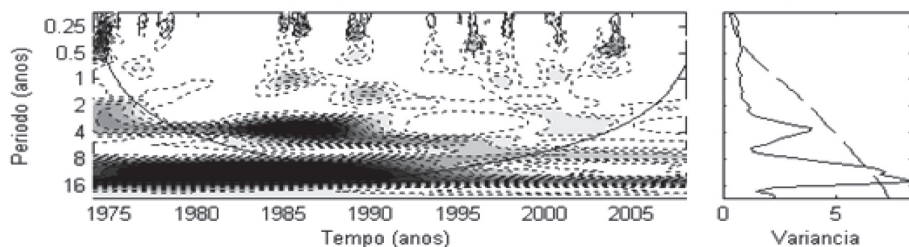


Figura 15

a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Litoral Oeste. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

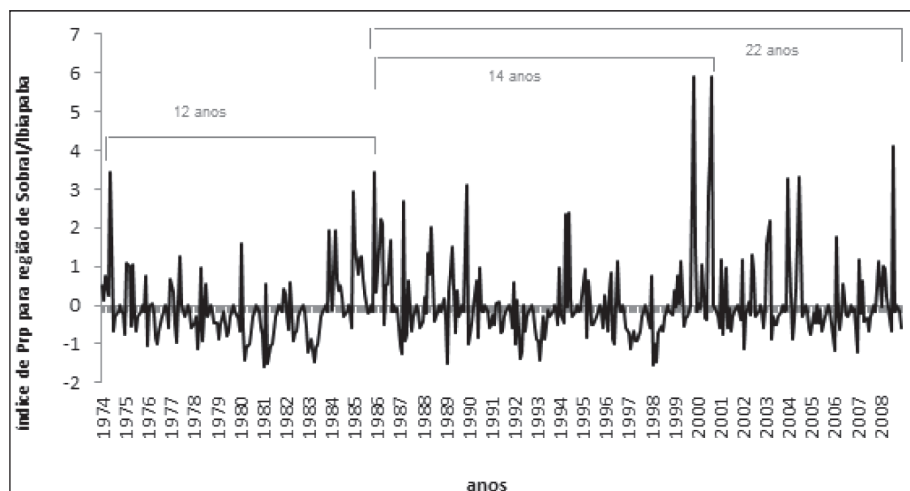


Figura 16
Índice de precipitação (Prp) para Região Sobral /Ibiapaba normalizado pelo desvio padrão.

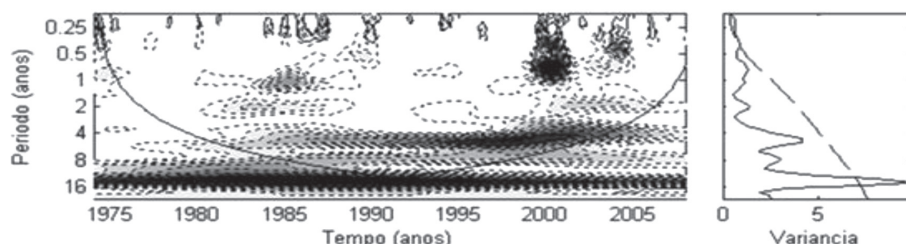


Figura 17
a) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp da Região Sobral /Ibiapaba. Contornos sombreados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; b) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

A escala sazonal também mostrou-se significativa (Figura 17b). Por fim, a união de diferentes escalas promoveram altos índices de Prp (Figura 16), tendo como exemplo o ano de 2000, quando associaram-se escala sazonal de 0,25-0,5 anos, escala de 7 anos ligada ao ENOS e ao Dipólo do Atlântico e escala decadal de 22 anos ligada à ODP.

Como a escala dominante na variabilidade pluviométrica na região é de 22 anos, espera-se que em 2030 haja altos valores de Prp.

Conclusões

Concluiu-se que todas as oito macrorregiões do estado do Ceará sofrem influencia das variações e escalas sazonais, interanuais e decadais sob suas precipitações.

É fato comprovado que sazonalidade, ENOS, Dipólo do Atlântico, ciclo de manchas solares e Oscilação Decadal do Pacífico influenciam as precipitações no estado do Ceará, desta forma, com a informação de quais fenômenos climáticos ou sistemas meteorológicos influenciam diretamente cada uma das macrorregiões do Ceará, com o acompanhamento climático dos mesmos, é possível conhecer mais profundamente as variações pluviométricas de cada região, e ao mesmo tempo usar a informação para previsão climática, de risco climático e seus produtos.

Com a análise de ondeletas foi possível prever os máximos de precipitação para cada região: Região de Baturité, em 2016, 2020-2022; na Região Metropolitana de Fortaleza, em 2014 e 2024; na Região Sertão Central, em 2024; na Região Litoral Leste/Jaguaribe, em 2024 e 2027; na Região Cariri/Centro Sul, em 2018 e 2020; na Região Sertão dos Inhamuns, em 2015; na Região Litoral Oeste em 2028 e para Região Sobral/Ibiapaba, em 2030.

Assim, prejuízos econômicos e de vidas humanas podem ser evitadas, ao mesmo tempo que os setores de gestão de recursos hídricos, risco climático, gestão agrícola entre outros setores, podem programar ações e aproveitar as informações antecipadamente.

Agradecimentos

A autora agradece à Fundação Cearense de Apoio a Pesquisa (FUNCAP - CE) pelo auxílio financeiro através de projeto aprovado no Edital BPI 05-2012 e pela concessão de bolsa de produtividade, à Universidade Federal do Ceará (UFC) pelo apoio institucional e ao Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Portugal, pelo honroso convite em participar dessa publicação.

Referências

- ABREU SÁ, L. D.; SAMBATTI, S. B. M. e GALVÃO, G. P. (1998) - "Ondeleta de Morlet aplicada ao estudo da variabilidade do Nível do rio Paraguai em Ladário, MS". Número Especial, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, vol. 33, pp. 1775-1785.
- ACEITUNO, P. (1988) - "On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part 1: surface climate". *Mon. Wea. Rev.*, v. 116, pp. 505-524.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D. e ALVES, M. A. S. A. (2004) - "A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza.", *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.3, p.337-344.
- ANDREOLI, R. V. e KAYANO, M. T. (2005) - "ENSO-Related Anomalies in South America and Associated Circulation Features During Warm and Cold Pacific Decadal Oscillation Regimes". *Inter. J. Climatol.*, v. 25, pp. 2017-2030.
- BARBOSA, E. B. M.; ROSA, M. M.; VIJAYKUMAR, N. L.; BOLZAN, M. J. A. e TOMASELLA, J. (2004) - *Caracterização por Ondeletas de Processos Físicos Não-Lineares na Micro-bacia Amazônica*. INPE, São José dos Campos.
- CEARÁ. Assembléia Legislativa do Estado do Cenário Atual dos recursos hídricos do Ceará / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembléia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). - Fortaleza: INESP, 2008. 174p. : il. - (Coleção Pacto das Águas)

**Aplicação das análises de ondeletas para previsão climática
e na prevenção de risco climático no Estado do Ceará (Br)**

- CHU, P. S. (1984) - "Time and space variability of rainfall and surface circulation in the north-east Brazil-Tropical Atlantic sector". *J. Meteor. Soc. Japan*, v. 26, n. 2, pp. 363-369.
- DA SILVA, D. F. (2003) - *Influência da Variabilidade Climática Interanual na Hidrologia da Bacia do rio São Francisco*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia), Universidade Federal de Alagoas - UFAL.
- DA SILVA, D. F. (2009) - *Análise de aspectos climatológicos, ambientais, agroecômicos e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)*. Tese de Doutorado em Recursos Naturais, 174 p., UFCG(PB).
- DA SILVA, D. F.; KAYANO, M. T. e SOUSA, F. de A. S. (2010) - "Uso de ferramentas estatísticas para acompanhamento climático e prevenção de riscos na bacia hidrográfica do rio Mundaú (Brasil)". *Territorium* (Portugal), v. 17, pp. 17-26.
- DA SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D. e NÓBREGA, R. S. (2011) - "Influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos sobre sub-bacias do rio São Francisco". *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 19.
- GU, D. e PHILANDER, G. H. (1995) - "Secular changes of annual and interannual variability in the Tropics during the past century". *Journal of Climate*, 8, pp. 864-876.
- HASTENRATH, S. e KACZMARCZYK, E. B. (1981) - "On spectra and coherence of tropical climate anomalies". *Tellus*, v. 33, n. 5, pp. 453-462.
- KANE, R. P. e TRIVEDI, N. B. (1988) - "Spectral characteristics of the annual rainfall series for northeast Brazil". *Climate Change*, v. 13, pp. 317-336.
- KANE, R. P. (1992) - "El Niño and La Niña events and rainfall in NE and South Brazil". *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 10, n. 2, pp. 49-59.
- KANE, R. P. (1997) - "Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities". *Internacional Journal of Climatology*, v. 17, pp. 655-665.
- KAYANO, M. T. e ANDREOLI, R. V. (2006) - "Relationships between rainfall anomalies over northeastern Brazil and El Niño-Southern Oscillation". *Journal of Geophysical Research*, v. 111, D13102, doi: 10.1029/2005JD006142,.
- KERR, R. A. (1996) - "A new dawn for sun-climate links?" *Science*, Washington, DC, v. 271, nº 5254, pp. 1360-1361.
- KOUSKY, V. E. e CHU, P. S. (1978) - "Fluctuations in annual rainfall for northeast Brazil". *J. Meteor. Soc. Japan*, v. 56, pp. 457-466.
- LABAT, D.; RONCHAIL, J. e GUYOT, J. L. (2005) - "Recent advances in Wavelet analyses, part 2-Amazon, Parana, Orinoco and Congo discharges time scale variability". *Journal of Hydrology*, p. 1-23.
- MARKHAM, C. G. (1974) - "Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brasil". *J. App. Meteor.*, v. 13, p. 176-179.
- MEHTA, V. e DELWORTH, T. (1995) - "Decadal variability of the Tropical Atlantic ocean surface temperature in shipboard measurements and in a global ocean-atmosphere model". *Journal of Climate*, v. 8, n. 3, pp. 172-190.
- MOLION, L. C. B. (2005) - "Aquecimento Global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico". *Revista Climadlise*.
- MORETTIN, P. A. (1999) - *Ondas e Ondaletas: Da análise de Fourier à Análise de Ondaletas*. EDUSP.
- MOURA, A. D. e SHUKLA, J. (1981) - "On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model". *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 38, pp. 2653-2675.

- SCHNEIDER, M.; VITORINO, I. e SILVA DIAS, P. L. (2005) - "Monitoramento da Intrasazonalidade por meio da Transformada em Ondeletras". *Simpósio Internacional de Climatologia, Anais...*, Fortaleza.
- SERVAIN, J. (1991) - "Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications". *Geophys Res*, 96, pp. 15137-15146.
- SPERBER, K. R. e HAMEED, S. (1993) - "Phase Locking of Nordeste precipitation with sea surface temperatures". *Geophysical Resource Letter*, v. 20, n.p2, pp.113-116.
- TORRENCE, C. e COMPO, G. P. (1998) - "A practical guide to wavelet analysis". *Bullettin of the American Meteorological Society*, v. 79, pp. 61-78.
- TORRENCE, C. e WEBSTER, P. J. (1999) - "Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system". *J. Climate*, 12, pp. 2679-2690.
- TUCCI, C. E. M. e BRAGA, B. (2003) - *Clima e Recursos Hídricos no Brasil*. Coleção ABRH, p. 348.
- VITORINO, M. I. (2003) - *Análise das Oscilações Intrasazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes Utilizando a Análise de Ondeletras*. Tese de Doutorado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos.
- WENG, H. e LAU, K. M. (1994) - "Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the Tropical Western Pacific". *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 51, n. 17, pp. 2523-2541.
- ZHANG, Y.; WALLACE, J. M. e BATTISTI, D. (1997) - "ENSO-like interdecadal variability: 1900-93". *Journal of Climate*, v. 10, pp. 1004-1020.

Risco de ventos tempestuosos de escala sinóptica em Portugal continental: análise causal

Nuno Ganho

Departamento de Geografia. Faculdade de Letras. Universidade de Coimbra. Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território.
nganho@netvisao.pt

Resumo:

Neste artigo analisam-se as causas sinóptica responsáveis pela ocorrência de episódios de ventos tempestuosos (rajadas superiores a 100km/h), de escala sinóptica, em Portugal Continental, tendo como base um conjunto de casos ocorridos no passado. Na sua quase totalidade, estas situações tempestuosas são consequência da acção de perturbações extratropicais, em ciclogénese explosiva e com intensa actividade frontal associada, animadas por forte convergência na periferia de tramos de acentuada aceleração do *jet-stream* polar (*jet-streak*). O principal objectivo é o de contribuir para um melhor conhecimento dos riscos climático-meteorológicos em Portugal.

Palavras chave: Riscos naturais. Ventos tempestuosos. Ciclogénese explosiva. Jet-streak.

Abstract:

Risk of synoptic scale gusty winds in Portugal: causal analysis

In this article we analyze the synoptic causes of synoptic scale gusty winds (gusts exceeding 100km/h) episodes in Portugal, based on a set of cases that occurred in the past. Almost all of these situations are the result of storm action extratropical disturbances in explosive cyclogenesis and frontal activity associated, animated by strong convergence on the outskirts of polar jet stream intense acceleration (*jet-streak*). The main objective is to contribute to a better understanding of the climatic and weather risks in Portugal.

Keywords: Natural hazards. Gusty winds. Explosive cyclogenesis. Jet streak.

1. Considerações introdutórias

Não há, à superfície da Terra, áreas isentas de riscos climático-meteorológicos e, não obstante a benignidade que o senso-comum atribui às características do clima em Portugal Continental, este território não constitui excepção. O carácter mediterrâneo do clima de Portugal Continental, com toda a sua diversidade espacial - mais continental nas regiões do interior, com influências mais marcadamente marítimas nas regiões do litoral e modificado pela altitude nas áreas montanhosas - contempla paroxismos climáticos como ondas de calor e de frio, episódios de precipitação abundante e prolongada, ou particularmente intensa, por vezes de neve a baixa altitude, contrastando com períodos longos de escassez de precipitação invernal, e situações de ventos particularmente fortes. Os potenciais riscos, directos ou subsidiários, destes fenómenos extremos, são reais e de forte variabilidade inter-anual, como é marcadamente característico dos climas ditos de “transição”, onde se enquadra o clima mediterrâneo. E foram já objecto de análise científica por parte de alguns geógrafos, de entre os quais se destaca o Professor Doutor Fernando Rebelo, da Universidade de Coimbra (REBELO, 2001, 2005 e 2010), precursor do *corpus* da geocindínica em Portugal como uma área de investigação da Geografia, com terminologia, metodologias e objectivos, específicos, concretos e aplicados.

Relativamente a Portugal, se alguns dos riscos associados a determinadas variáveis climáticas têm sido objecto de análises recorrentes pela Geografia de Coimbra, nomeadamente à abundância ou escassez de precipitação (GANHO e MONTEIRO, 1989; GANHO e MONTEIRO, 1993; REBELO e GANHO, 1998; GANHO, 2002; GANHO, 2009/2010; BOTELHO e GANHO, 2010; BOTELHO e GANHO, 2012b), a temperaturas extremas e desconforto bioclimático (GANHO, 1994; BOTELHO e GANHO, 2012a; BOTELHO e GANHO, 2013), ou à degradação da qualidade do ar e poluição atmosférica (GANHO, 1996; GANHO, 1999; FIALHO, GOMES e GANHO, 2010), a mesma importância não tem sido atribuída às situações de ventos tempestuosos e seus potenciais riscos (NUNES, PINHO e GANHO, 2011/2012). Subscrevendo Fernando Rebelo “o risco de tempestades violentas na Europa, embora raro, existe e manifesta-se de vez em quando. Portugal, em termos geográficos, sempre foi um país europeu. Também temos de estar preparados para riscos deste tipo” (REBELO, 2005: 54).

2. Conceitos e metodologia

Segundo BARRY e CARLETON (2001), os fenómenos atmosféricos de escala sinóptica apresentam uma dimensão espacial horizontal entre 500 e 5000km, limiares acima e abaixo dos quais se situam, respectivamente, a escala planetária (superior a 5000km), e as mesoescala (20 a 500km) e pequena escala (1 a 20km), a que se pode também atribuir a designação, mais ampla, de escala subsinóptica.

Assim sendo, a análise que se faz neste trabalho recai sobre ventos de escala sinóptica (ou na transição para a escala subsinóptica), cujos efeitos se fazem sentir em vastas áreas do território e na dependência de perturbações atmosféricas, normalmente de carácter frontal, de grandes dimensões. Excluem-se, por isso, as situações de ventos particularmente violentos mas de escala subsinóptica, e que, pontualmente, atingem áreas do país de dimensão mais restrita, como é o caso dos tornados (PINTO e LEITÃO, 2010; PINTO e LEITÃO, 2012) ou dos

gustnados, associados a super-células de desenvolvimento vertical, não obstante estas surgirem embebidas no contexto da dinâmica interna de perturbações de escala sinóptica, associadas a descontinuidades frontais muito activas, ou a linhas de forte convergência e de instabilidade organizada.

De acordo com a Escala de *Beaufort* (Instituto Hidrográfico da Marinha Portuguesa), que classifica a força do vento em 13 categorias (de 0 a 12), em função da sua velocidade e dos seus efeitos em terra, ao vento de grau 9, que corresponde a uma velocidade de 75 a 88km/h, é atribuída a designação de tempestuoso, e ao vento de grau 10 (89-102km/h) a qualificação de temporal. Estas velocidades do vento são velocidades sustentadas e não contemplam velocidades instantâneas (rajadas), significativamente mais elevadas dentro de cada categoria. Por isso, e utilizando um critério pouco espalhado, atribuiu-se a designação de ventos tempestuosos àqueles que, em rajada, superaram os 100km/h e seleccionaram-se as situações em análise com base em dados diários disponíveis em arquivo *on-line* (www.tutiempo.net), nomeadamente nos dias do período 1973-2013 em que as rajadas de vento ultrapassaram os 100km/h em, pelo menos, uma das estações meteorológicas (quadro I) de Lisboa (Portela), Porto (Pedras Rubras), Coimbra (Instituto Geofísico da Universidade ou Aeródromo de Cernache) e Faro (Aeroporto). A escolha destas estações meteorológicas teve como preocupação contemplar toda a extensão latitudinal do território, com incidência no litoral, onde a influência da força de atrito entre a superfície terrestre e a baixa atmosfera suprajacente menos interfere com as causas dinâmicas da velocidade dos fluxos.

3. Dinâmica atmosférica e ciclogénese extratropical

A localização de Portugal Continental nas médias latitudes (entre 37 e 42° N) coloca-o na transição entre o campo estável da cintura das altas pressões subtropicais, e o campo perturbado dos corredores das perturbações da frente polar e da migração meridiana de perturbações de gota-fria. A acção dominante das células anticiclónicas subtropicais nos meses mais quentes do ano (de Junho a Setembro) e a influência recorrente, mas intermitente, de perturbações atmosféricas determinadas pela actividade polar e subpolar, no resto do ano, resulta da migração latitudinal dos fluxos de Oeste do vórtice circumpolar dos níveis médios e altos da troposfera, para latitudes mais elevadas no Verão e para latitudes mais meridionais no Inverno. A actividade ciclogénica depende da posição latitudinal do fluxo em altitude e do *jet-stream* polar nele integrado, do seu traçado, de carácter zonal ou meridiano (ondulatório ou de bloqueio), e da variação, em longitude, da sua velocidade.

A ciclogénese extratropical não depende só de fortes contrastes termohigrométricos e de densidade entre massas de ar, e da estrutura baroclínica da troposfera no seu confronto, mas principalmente do carácter convergente (ou confluyente) ou divergente (ou difluente) dos fluxos nos níveis altos da troposfera.

Com efeito, quando domina um regime de circulação ondulatória em altitude, descrevendo cristas (ondulações anticiclónicas) e vales (ondulações ciclónicas) de grande amplitude (ondas de *Rossby*), em consequência da variação do turbilhão absoluto (HUFFY, 2001), no flanco oriental dos vales (e ocidental das cristas) verifica-se divergência em altitude, e no flanco ocidental dos vales (e oriental das cristas), pelo contrário, ocorre convergência em altitude. A divergência em

altitude provoca a ascendência do ar, convergência à superfície e ciclogénese, e a convergência em altitude determina a subsidência do ar, divergência à superfície e anticiclogénese. A ciclogénese ocorre, então, preferencialmente, no contexto do flanco oriental das ondulações ciclónicas (Figura 1).

A velocidade do fluxo no interior do *jet-stream* não é homogênea e, em determinados tramos, de extensão variável (de centenas a milhares de km), em função de um estrangulamento das linhas de contorno na alta troposfera (isoípsas do geopotencial a 300hPa), pode ser muito superior do que na sua envolvente, constituindo o *jet-streak* (ou *jet-maximum*). O *jet-streak* é determinante na ciclogénese extratropical (AHRENS, 2007).

Quando o regime da circulação em altitude tem um carácter zonal - por definição quando a amplitude das ondulações é inferior a 15° de latitude (FERREIRA, 1989) - a rápida aceleração do fluxo na área de entrada do *jet-streak* não é acompanhada, de imediato, por um aumento da intensidade da força de *Coriolis* proporcional ao aumento da força de gradiente, o equilíbrio geostrófico rompe-se e o fluxo inclina-se no sentido das baixas pressões, originando forte convergência à esquerda da corrente e divergência à direita da corrente. No núcleo do *jet-streak* reconstitui-se o equilíbrio geostrófico e o vento é paralelo às linhas de contorno. Na área de saída do *jet-streak*, a acentuada desaceleração do fluxo destrói novamente o equilíbrio geostrófico, temporariamente a força de *Coriolis* supera a força de gradiente, o fluxo inclina-se no sentido das altas pressões e gera-se forte divergência à esquerda da corrente e convergência à direita da corrente. Definem-se assim quatro quadrantes em torno de um *jet-streak* zonal (Figura 2): o quadrante esquerdo a montante do fluxo, de forte convergência, o quadrante direito a montante do fluxo, com divergência, o quadrante esquerdo a jusante do fluxo, de forte divergência e o quadrante direito a jusante do fluxo, com convergência. A convergência na alta troposfera determina subsidência, e divergência e anticiclogénese nos níveis inferiores da troposfera. Pelo contrário, à divergência na troposfera superior corresponde convergência na baixa troposfera, ascendência do ar e ciclogénese. Assim, a dinâmica atmosférica associada ao *jet-streak* zonal impõe condições particularmente favoráveis à ciclogénese no seu flanco esquerdo a jusante da corrente.

No caso de um *jet-streak* ondulatório (Figura 3), no contexto de um amplo vale no fluxo de altitude, a variação do turbilhão relativo contribui para uma intensificação da convergência no flanco ocidental do vale, à entrada esquerda do *jet-maximum* e um reforço da divergência no flanco oriental do vale, à saída esquerda do *jet-maximum*, áreas que correspondem, assim, respectivamente, a forte subsidência, anticiclogénese e divergência na baixa troposfera, e a intensa actividade convectiva, ciclogénese e convergência nos níveis baixos da troposfera. Quando a intensidade máxima do *jet-streak* se localiza no flanco ocidental de um vale, induz uma amplificação da ondulação (processo de *digging*) e, consequentemente, ao reforço da divergência no flanco oriental do vale. Pelo contrário, quando o *jet-streak* percorre o flanco oriental de um vale, conduz a um estiramento da ondulação (processo de *lifting*) e a uma atenuação da divergência.

As áreas onde a dinâmica divergente dos fluxos de altitude induz a ciclogénese e, consequentemente, a convergência subjacente, são, por excelência, áreas de advecção confluyente, com vorticidade ciclónica, de massas de ar com fortes contrastes, termohigrométricos, de densidade e de espessura, fortemente baroclínicas e, por isso, também, de intensa frontogénese e de potencial ocorrência de ventos de superfície particularmente violentos.

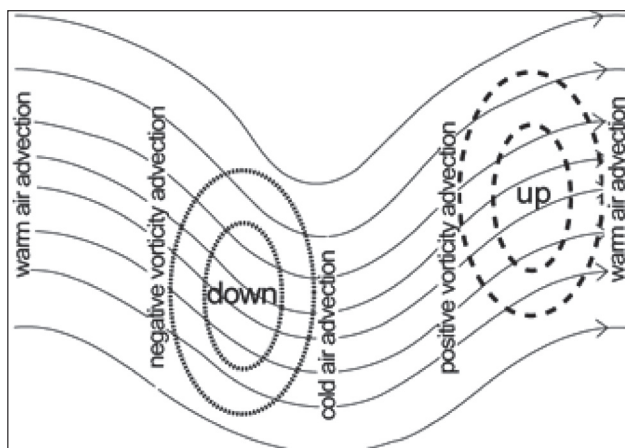


Figura 1

Áreas de convergência (down) e de divergência (up) no contexto de um vale nos níveis altos da troposfera.

Fonte: www.estofex.org.

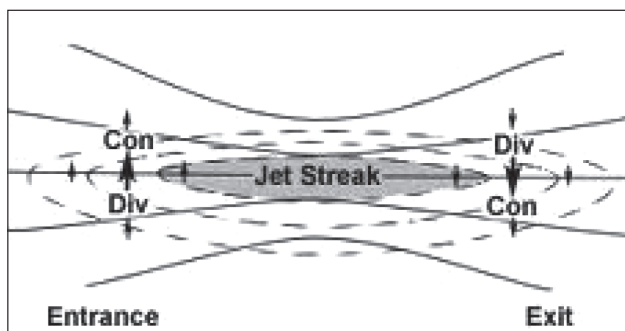


Figura 2

Quadrantes de convergência (Con) e de divergência (Div) no contexto de um jet-streak zonal.

Fonte: www.crh.noaa.gov.

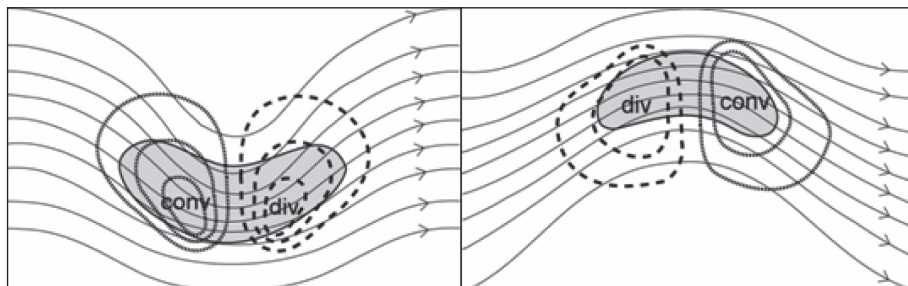


Figura 3

Áreas de convergência (conv) e de divergência (div) no contexto de um *jet-streak* com curvatura ciclônica (esquerda) e anticiclônica (direita).

Fonte: www.estofex.org.

Quando o *jet-streak*, com traçado zonal, ou no contexto de um vale, é muito intenso, a divergência no seu flanco esquerdo a jusante da máxima velocidade do fluxo, muito marcada, induz uma forte ascendência do ar desde os níveis troposféricos subjacentes e, consequentemente, uma ciclogénese violenta, denominada de “ciclogénese explosiva”, por definição (SANDERS e GYAKUM, 1980) quando a pressão atmosférica, à superfície, desce 1hPa por hora (à latitude de 60°, um pouco menos de 1hPa por hora à latitude de 40°), ou seja, aproximadamente 24hPa em 24 horas (20hPa em 24 horas para 40° de latitude). A formação e evolução, muito rápida, de perturbações extratropicais tão profundas e cavadas, frequentemente a partir de ondas baroclínicas ou de vórtices ciclónicos secundários embebidos no flanco meridional (setentrional no hemisfério Sul) de um vasto campo depressiónário subpolar, por si só é acompanhada de ventos de carácter tempestuoso, principalmente ao longo do traçado das descontinuidades frontais associadas, independentemente destas apresentarem uma estrutura de acordo com o modelo norueguês (PÉDELABORDE, 1982), ou de acordo com o modelo de *Shapiro-Keyser* (VOPURC'H, FONS e STUM, 2002). No modelo norueguês (Figura 4), o processo de oclusão evolui desde o núcleo depressiónário e, quando completo, todo o sector quente é remetido para os níveis médios e altos da troposfera, ficando a depressão, na baixa troposfera, constituída apenas por ar frio. No caso do modelo de *Shapiro-Keyser* (Figura 4), à medida que o processo de oclusão evolui, a frente oclusa vai-se enrolando, em espiral, em torno do centro da depressão, acabando por originar, na baixa troposfera, uma depressão fria com um núcleo quente, e a oclusão é denominada de seclusão quente. Trata-se, efectivamente, de uma oclusão de tipo frente quente. Por vezes, o processo de oclusão nem sequer se inicia, a frente fria destaca-se da frente quente e é apenas a frente quente que se enrola em torno de centro da depressão que, também neste caso, se transforma numa depressão de núcleo quente. O esquema norueguês e o de *Shapiro-Keyser* coexistem, e este último ocorre, preferencialmente, sobre os oceanos.

Em qualquer dos casos, quando a divergência à saída do *jet-streak* é particularmente intensa, para além da afluência de ar desde a baixa troposfera, determina também uma sucção de ar estratosférico, muito frio e seco, que penetra “em ranhura” ao longo do sector pós-

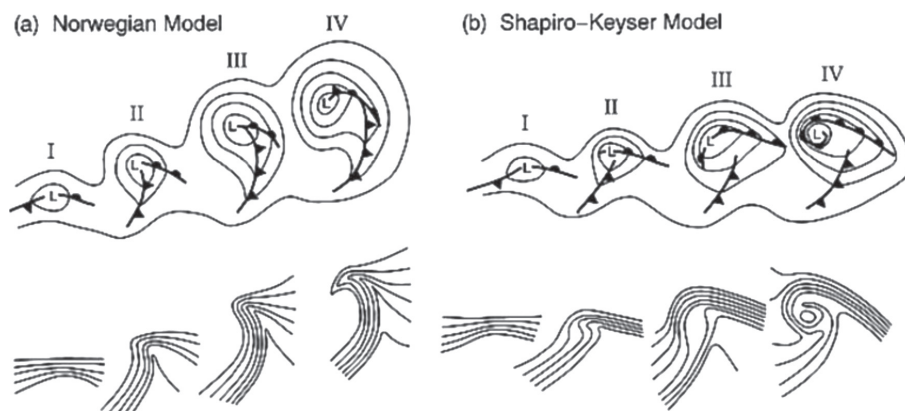


Figura 4

Modelos conceptuais de evolução de uma perturbação frontal segundo os modelos norueguês e de *Shapiro-Keyser*. Campo de pressão e frentes (em cima) e campo térmico potencial (em baixo), nos níveis baixos da troposfera.

Fonte: www.met.read.

frontal da perturbação (AHRENS, 2007), donde a designação de *dry-slot* (Figura 5). A intrusão do *dry-slot* no contexto da perturbação, vem reforçar os contrastes térmicos horizontais e verticais, intensificando a convecção dinâmica e reforçando a instabilidade termodinâmica, incrementando, assim, a actividade ciclónica e frontal. Uma das consequências é, por vezes, a formação de uma corrente de jacto na baixa troposfera, imediatamente em frente da descontinuidade frontal que contorna o núcleo da perturbação, de escala subsinóptica, que se pode manifestar por ventos tempestuosos de superfície, com rajadas superiores a 150 ou a 200km/h e que nas imagens de satélite (domínio do infravermelho, ou de vapor de água), aparece com uma assinatura típica em “ferrão” (ou em “gancho”), donde a sua designação de *sting-jet* (Figura 6).

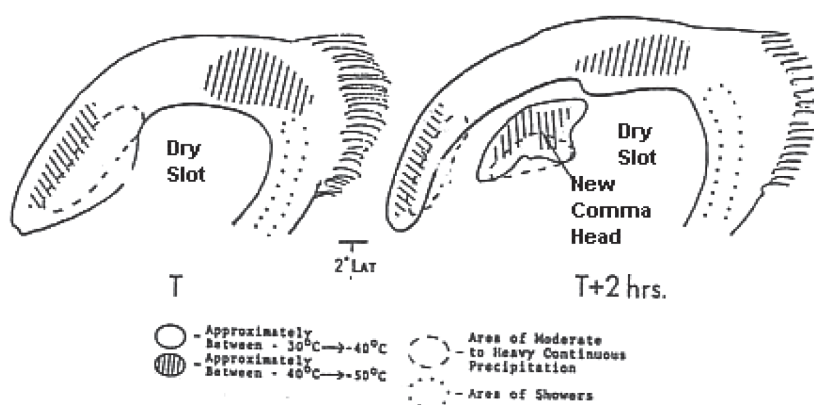


Figura 5

Modelo da estrutura interna, numa imagem de satélite em infravermelho, de uma perturbação extratropical em fase de oclusão e rápido cavamento, com *dry-slot*.

Fonte: www4.ncsu.edu.

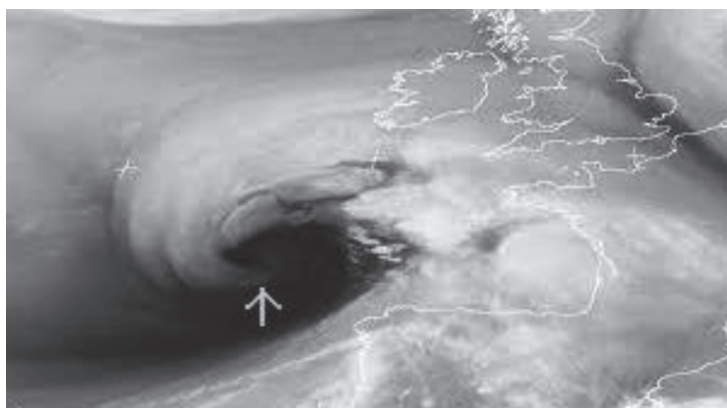


Figura 6

Assinatura típica de um *sting-jet* em imagem de satélite.

Fonte: <http://hydrometeo.e-monsite.com>.

4. Análise causal

Da base de dados em arquivo que serviu de suporte a este trabalho, correspondente aos dias do período de 1973-2013 para os quais havia informação disponível quanto à velocidade máxima instantânea do vento observada nas estações meteorológicas de Lisboa, Porto, Coimbra e Faro, seleccionaram-se aqueles em que, em pelo menos uma das estações meteorológicas, a rajada máxima ultrapassou os 100km/h. Com base neste critério seleccionaram-se dez dias que materializam sete situações de ventos tempestuosos de escala sinóptica (Quadro I), para as quais se procedeu a uma análise de causalidade sinóptica (Quadros II e III). A estas situações junta-se mais uma, em Fevereiro de 1941, referente ao comumente designado por “ciclone de 1941”, já anteriormente analisado numa outra publicação (NUNES, PINHO e GANHO, 2011/2012). Por outro lado, exclui-se desta análise a situação de vento tempestuoso observada a 23 de Dezembro de 2009, em que a rajada máxima de

Quadro I
Rajada máxima de vento (km/h)

Data	Lisboa (Portela)	Porto (Pedras Rubras)	Coimbra (I. Geofísico)	Faro (Aeroporto)
19-01-2013	91 104**	115	104*	87
27-02-2010	91	113	86*	78
11-11-1996	110		22*	59
11-02-1987	135			98
10-02-1987	108			78
07-11-1982		107	74	87
06-11-1982		107	95	108
11-12-1978	91	120		68
17-01-1973		111		87
16-01-1973	107	122		87
15-02-1941	127	130	133	

* Estação meteorológica de Cernache

** Estação meteorológica de Gago Coutinho

Fonte: www.tutiempo.net, dados em arquivo para o período 1973-2013, à excepção de 15-02-1941.

Quadro II

Descida da pressão atmosférica, por período de tempo, à superfície, em Portugal Continental

Data	Pressão atmosférica, à superfície, sobre Portugal Continental (hPa)	Descida pressão atmosférica, à superfície, sobre Portugal Continental (hPa)
de 12h 18-02-2013 a 06h 19-02-2013	NW Portugal: 1008 NW Portugal: 972	36hPa/20h
de 00h 27-02-2010 a 12h 27-02-2010	NW Portugal: 1005 NW de Portugal: 985	20hPa /12h
de 12h 10-11-1996 a 12h 11-11-1996	NW Portugal: 1020 NW de Portugal: 990	30hPa/24h
de 00h 10-02-1987 a 00h 11-02-1987	Centro Portugal: 1020 Centro Portugal: 990	30hPa/24h
de 00h 06-11-1982 a 00h 07-11-1982	Centro Portugal: 1010 Centro Portugal: 985	25hPa/24h
de 12h 10-12-1978 a 12h 11-12-1978	NW Pen. Ibérica: 1010 NW Pen. Ibérica: 1000	10hPa/24h
de 00h 16-01-1973 a 00h 17-01-1973	NW Portugal: 1015 NW Portugal: 980	35hPa/24h
de 00h 15-02-1941 a 18h 15-02-1941	NW Portugal: 1005 NW Portugal: 960	45hPa/18h

Fonte: Cartografia sinóptica de superfície, arquivo on-line, www.meteociel.fr.

vento atingiu os 142 km/h em Torres Vedras e os 140km/h no Cabo Carvoeiro, por se tratar de um episódio de escala marcadamente subsinóptica, fruto da evolução muito rápida, mas espacialmente muito restrita (litoral da região Oeste), do núcleo de uma depressão em ciclogénese explosiva, com *dry-slot* e intervenção de um *sting-jet*, responsável por um campo de vento instantâneo, à superfície, com valores estimados entre 100 e 230km/h (PINTO e SILVA, 2010).

4.1. Conjugação de flancos divergentes de tramos sequenciais de *jet-streak* em ondulação

O dia 15 de Fevereiro de 1941 ficou conhecido em Portugal Continental como o dia do “ciclone de 1941”, em consequência da perda de vidas humanas e dos estragos materiais, de

Quadro III

Síntese da causalidade sinóptica dos ventos tempestuosos de escala sinóptica em Portugal Continental

Data	Perturbação percursora e Perturbação responsável	Intensidade do <i>jet-streak</i> a W ou sobre a Pen. Ibérica (km/h)	Traçado do <i>jet-stream</i> a W e sobre a Pen. Ibérica	Posição Portugal Continental no contexto do <i>jet-streak</i>
19-01-2013	Onda baroclínica a N dos Açores evoluindo, em forte cavamento, para Depressão sobre a Galiza	270-280	Eixo de ondulação ciclónica em amplificação por <i>digging</i>	Justaposição do flanco direito/montante (fluxo SSW) com o flanco esquerdo/juzante (fluxo NW) do <i>jet</i>
27-02-2010	Depressão a SW dos Açores evoluindo, em forte cavamento, para Depressão a W da Galiza	240-250	Flanco oriental de ondulação ciclónica	Justaposição do flanco direito/montante (fluxo SSW) com o flanco esquerdo/juzante (fluxo WSW) do <i>jet</i>
11-11-1996	Depressão a W da Irlanda evoluindo, em forte cavamento, para Depressão a NW da Galiza	290-300	Eixo de ondulação ciclónica de forte amplitude, evoluindo para bloqueio frio em <i>cut-off-low</i> , por <i>digging</i> e em retrogressão	Flanco esquerdo/juzante (fluxoW) do <i>jet</i>
10-02-1987 11-02-1987	Depressão a N dos Açores evoluindo, sem cavamento, para Depressão sobre o NW da Pen. Ibérica	220-230	Flanco oriental de ondulação ciclónica em amplificação por <i>digging</i>	Flanco esquerdo/juzante (fluxo W) do <i>jet</i>
06-11-1982 07-11-1982	Depressão a NE dos Açores evoluindo, em forte cavamento, para Depressão a NW da Pen. Ibérica	290-300	Flanco oriental de ondulação ciclónica, de forte amplitude, evoluindo para bloqueio frio em <i>cut-off-low</i>	Flanco esquerdo/juzante (fluxo W) do <i>jet</i>
11-12-1978	Depressão a N dos Açores evoluindo, em cavamento, para Depressão a NW da Pen. Ibérica	310-320	Flanco oriental de ondulação ciclónica, em acentuada amplificação por <i>digging</i>	Flanco esquerdo/juzante (fluxo SW) do <i>jet</i>
16-01-1973 17-01-1973	Depressão a WNW dos Açores evoluindo, em forte cavamento, para Depressão sobre a Galiza	270-280	Zonal	Flanco esquerdo/juzante (fluxo W) do <i>jet</i>
15-02-1941	Onda baroclínica sobre os Açores, evoluindo, em forte cavamento, para Depressão sobre a Galiza	250-260	Flanco oriental de ondulação ciclónica pouco ampla, em amplificação por <i>digging</i>	Justaposição do flanco direito/montante (fluxo SW) com o flanco esquerdo/juzante (fluxo SW) do <i>jet</i>

Fonte: Cartografia sinóptica de superfície e a 500hPa, e do *jet-stream* a 300hPa, arquivo on-line, www.meteociel.fr.

carácter catastrófico, provocados por ventos particularmente violentos, que se fizeram sentir em grande parte do território, com particular incidência nas regiões do Norte e do Centro do país (NUNES, PINHO e GANHO, 2011/2012). Em Lisboa, a rajada máxima de vento foi de 127Km/h, no Porto de 130km/h e em Coimbra de 133km/h (Quadro I).

A causa sinóptica destes ventos tempestuosos não foi a de um “ciclone”, que na verdadeira acepção da palavra se restringe aos ciclones tropicais, os quais não fazem parte da dinâmica atmosférica de Portugal Continental. Tratou-se, sim, da evolução de uma onda baroclínica, desde a área dos Açores que, no seu rápido deslocamento para W, se constituiu como um núcleo depressionário muito profundo e cavado, passando pelo quadrante NW da Península Ibérica com um mínimo de pressão, estimado, de 960hPa, inflectindo depois, em fase de enchimento, para NE, em direcção à Bretanha (Quadro III e Figura 7). Na região Noroeste de Portugal, a descida da pressão atmosférica foi de 45hPa em apenas 18h (quadro II), o que consubstancia uma violenta ciclogénese explosiva. Esta ciclogénese explosiva ocorreu na presença de um *jet-streak* vigoroso, a W da Península Ibérica, de 250-260km/h ao nível do geopotencial a 300hPa e, como consequência, da forte divergência associada ao flanco oriental de uma ondulação ciclónica pouco ampla, mas em amplificação por processo de *digging*, reforçada pela justaposição, sobre Portugal Continental, do flanco direito a montante de um tramo do *jet-streak*, com o flanco esquerdo a jusante de outro tramo do *jet-streak*, embutidos no fluxo de SW do sector oriental do vale.

Semelhante contextualização do território português relativamente ao *jet-streak*, nomeadamente a conjugação espacial dos flancos de maior intensidade da divergência de dois tramos sequenciais do *jet* embebidos numa ondulação ciclónica, e na presença de forte intensidade do fluxo máximo, de 270-280km/h e 240-250km/h (Quadro III e Figura 7), justifica os ventos tempestuosos que se verificaram em Portugal, a 19 de Janeiro de 2013 e a 27 de Fevereiro de 2010.

A 19 de Janeiro de 2013, o comportamento do *jet* determinou a evolução, no seu trajecto desde o N dos Açores até à Galiza, de uma onda baroclínica inicial numa depressão muito profunda e cavada (Quadro III, Figura 7), com 972hPa no centro, com forte actividade frontal associada (seclusão quente com assinatura em ferrão), e uma descida da pressão atmosférica à superfície, no Noroeste de Portugal, de 36hPa em 20h (Quadro II), constituindo, assim, uma notável ciclogénese explosiva. Como consequência, no Porto a rajada máxima de vento atingiu os 115km/h, em Coimbra (Cernache) os 104km/h e em Lisboa (Gago Coutinho), também, 104km/h (Quadro I).

A 27 de Fevereiro de 2010, a forte divergência na alta troposfera conduziu uma depressão centrada a SW dos Açores para a área a W da Galiza, com 985hPa no centro, num percurso de forte cavamento e intensa actividade frontal fria, com uma diminuição da pressão atmosférica, no NW português, de 20hPa em 12h (Quadro II), traduzindo, novamente, uma situação de ciclogénese explosiva. Porém, só no Porto a rajada máxima de vento superou os 100km/h, com 115km/h (Quadro I), tendo-se restringido espacialmente às regiões do NW do território o carácter tempestuoso do vento.

4.2. Flanco divergente de *jet-streak* em contexto de flanco oriental de ondulação ciclónica

Os episódios de ventos tempestuosos ocorridos em Fevereiro de 1987 e em Dezembro de 1978, têm como denominador comum uma ciclogénese determinada pela acção, sobre Portugal

Continental, do flanco esquerdo a jusante do *jet-streak*, em contexto de flanco oriental de ondulação ciclónica, ampla, e em amplificação por *digging* (Quadro III e Figura 7), o que contribui para um reforço da divergência na alta troposfera.

Nos dias 10 e 11 de Fevereiro de 1987, embora não se dispondo de dados sobre a rajada máxima de vento para o Porto e para Coimbra, em Lisboa, no dia 10, o vento atingiu uma velocidade máxima instantânea de 108km/h e no dia 11 de 135km/h. Neste mesmo dia, também em Faro, a rajada máxima aproximou-se dos 100km/h (Quadro I). Nas regiões do Centro de Portugal, entre os dias 10 e 11, a pressão atmosférica à superfície desceu 30hPa em 24h (Quadro II), o que se enquadra na definição de ciclogénese explosiva. Porém, esta descida acentuada da pressão atmosférica não se deveu à aproximação de um centro depressionário em cavamento explosivo, mas sim, da migração rápida, desde a região a N dos Açores para o NW da Península Ibérica, de uma depressão profunda e cavada (990hPa no centro), com forte actividade frontal, sem variação significativa da pressão atmosférica no seu núcleo (Quadro III e Figura 7), mas substituindo uma crista anticiclónica que fazia sentir a sua acção no território.

Já no dia 11 de Dezembro de 1978, só no Porto a rajada máxima de vento superou o limiar de tempestuoso, com 120km/h (Quadro I) e a descida da pressão atmosférica, no NW da Península Ibérica, de 10hPa em 24h (Quadro II), ficou muito aquém de uma ciclogénese de carácter explosivo. A causa sinóptica deste episódio tempestuoso, espacialmente restringido às regiões do NW do território, foi a acção de uma vasta depressão complexa com forte actividade frontal (corrente perturbada de W), abrangendo todo o Atlântico Norte extratropical, em que um dos núcleos, situado a N dos Açores, se deslocou, em cavamento moderado para a área a NW da Península Ibérica (mínimo de 1000hPa), animado por um intenso tramo do *jet-streak*, com velocidades máximas do fluxo ao nível do geopotencial a 300hPa de 310-320 km/h (Quadro III).

4.3. Flanco divergente de *jet-streak* em contexto de bloqueio com vorticidade ciclónica

As situações tempestuosas de 11 de Novembro de 1996, e de 6 e 7 de Novembro de 1982, ocorreram também por acção de forte divergência nos níveis altos da troposfera, sobre Portugal Continental, imposta pelo flanco esquerdo a jusante de um tramo do *jet-streak*, muito intenso (290-300km/h), integrado no contexto de uma ondulação ciclónica de forte amplitude, porém com evolução para bloqueio em célula fria com vorticidade ciclónica autónoma (*cut-off-low*), por *digging*, e em retrogressão no caso de Novembro de 1996 (Quadro III e Figura 7).

No dia 11 de Novembro de 1996, à falta de informação para o Porto, só em Lisboa a rajada máxima de vento foi significativa: 110km/h (Quadro I). A descida da pressão atmosférica à superfície, no NW de Portugal, atingiu os 30hPa em 24h, claramente uma situação de ciclogénese explosiva, decorrente da evolução de um núcleo depressionário com actividade frontal e em processo de forte cavamento, em deslocamento meridiano da área a W da Irlanda para a região a NW da Galiza, com 990hPa no centro (Quadro III e Figura 7).

Entre 6 e 7 de Novembro de 1982, a rajada máxima de vento no Porto superou os 100km/h (107km/h), tal como em Faro (108km/h) no dia 6. Em Coimbra, também no dia 6, a rajada máxima aproximou-se dos 100km/h (95km/h). Para Lisboa a base de dados consultada não dispunha de informação sobre este parâmetro (quadro I). Neste caso, a descida da pressão atmosférica à superfície, no Centro do país, de 25hPa em 24h (Quadro II), traduz, também,

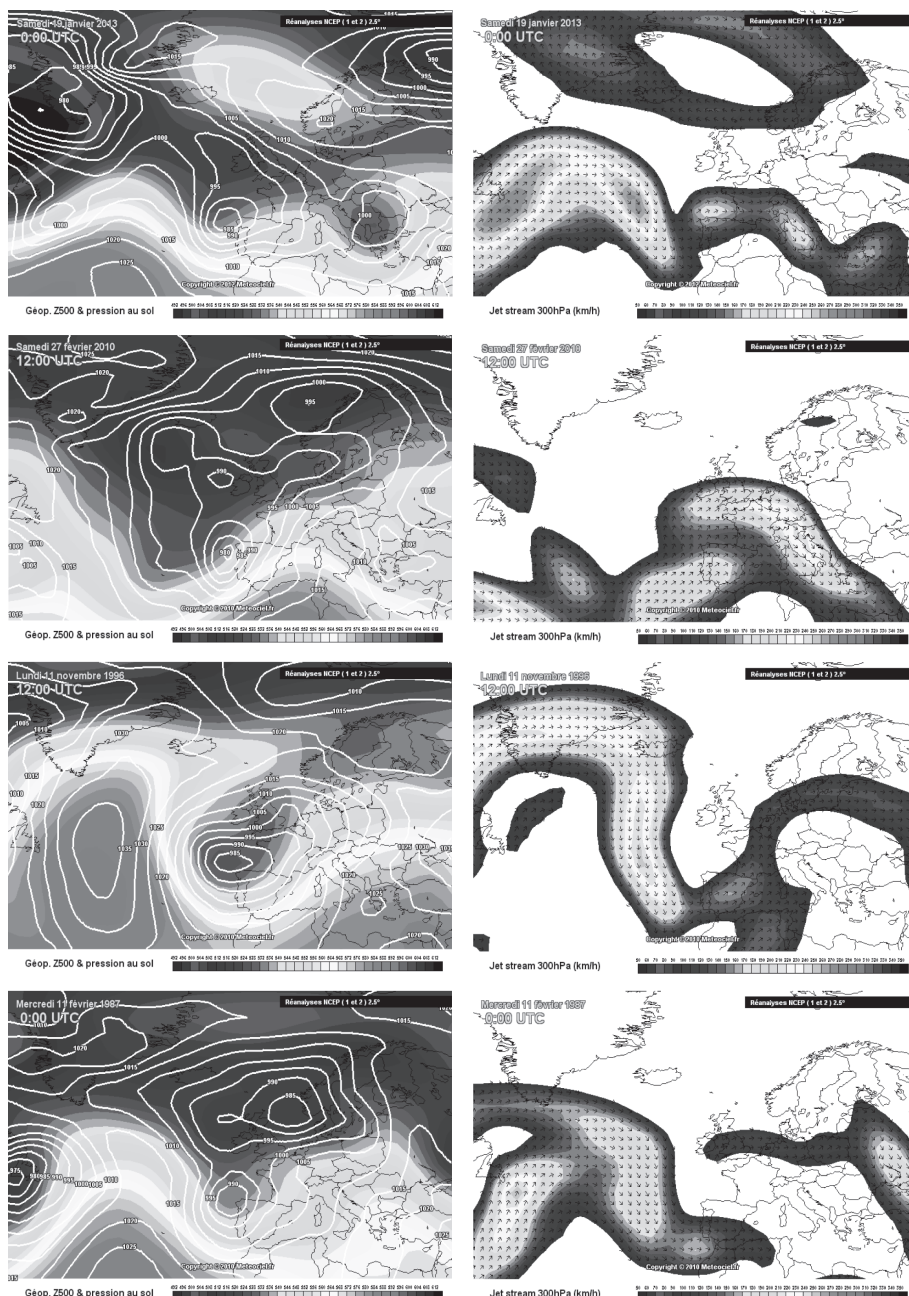
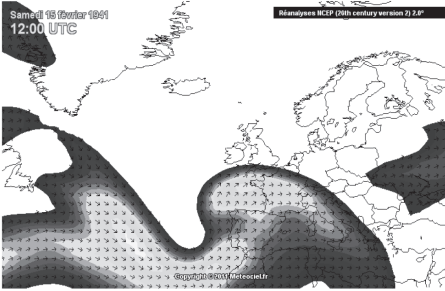
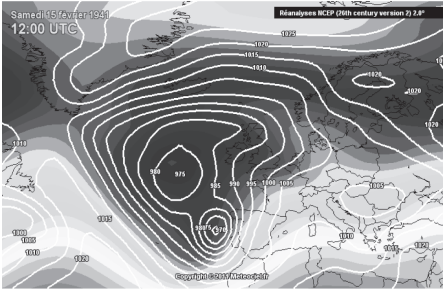
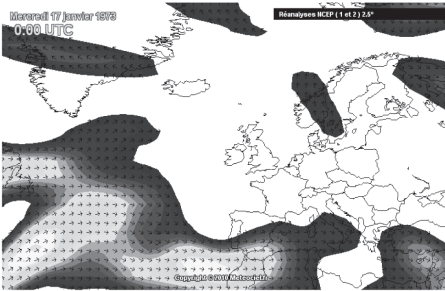
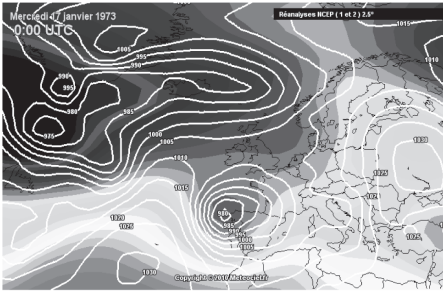
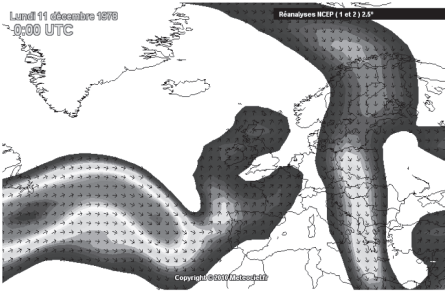
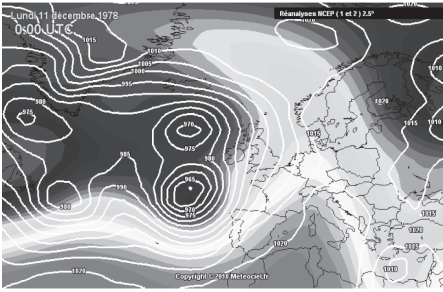
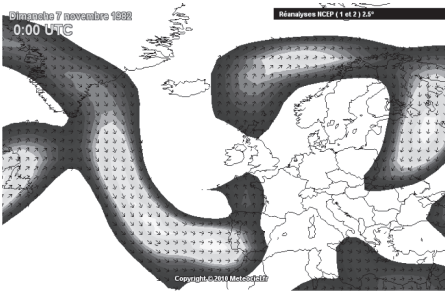
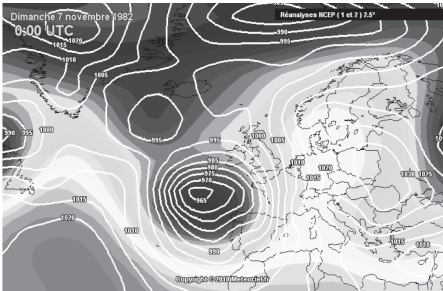


Figura 7
Campos de pressão à superfície e a 500hPa (esquerda), e velocidade do jet-stream a 300hPa.
Fonte: Arquivo on-line, www.meteociel.fr.

Risco de ventos tempestuosos de escala sinótica em Portugal continental: análise causal



uma ciclogénese explosiva, consequente da migração de uma depressão com intensa actividade frontal e em fase de forte cavamento, do NE dos Açores para o NW da Península Ibérica, com 985hPa no núcleo (Quadro III e Figura 7).

4.4. Flanco divergente de *jet-streak* em contexto de fluxo zonal

Os dias 16 e 17 de Janeiro de 1973 foram marcados por ventos particularmente fortes em todo o território português, embora só nas regiões do Norte e do Centro com carácter tempestuoso. No Porto a rajada máxima foi de 122km/h no dia 16 e de 111km/h no dia 17. Em Lisboa, no dia 16 o vento máximo instantâneo atingiu os 107km/h, não havendo dados para o dia 17, assim como para ambos os dias em Coimbra. Em Faro a velocidade do vento, em rajada, não superou os 87km/h (Quadro I).

Durante este período dominou o *jet-stream* polar à latitude dos Açores, com traçado zonal, descrevendo ondulações de fraca amplitude, com um vigoroso *jet-streak* (270-280km/h) embebido no fluxo de W e desembocando no SW ou S da Península Ibérica. Portugal ficou assim sob acção do flanco esquerdo a jusante do *jet*, sede de forte divergência na alta troposfera e condições favoráveis a intensa ciclogénese (Quadro III e Figura 7). Com efeito, a pressão atmosférica à superfície no NW do território desceu 35hPa em 24h (Quadro II). Esta ciclogénese explosiva resultou da aproximação rápida de uma depressão localizada a WNW dos Açores, em fase de forte cavamento e intensa actividade frontal, cujo núcleo, com 980hPa, se veio a centrar sobre a Galiza, progredindo depois para W, em processo de rápido enchimento, em função de uma inflexão do *jet-streak* para NW e do domínio da convergência do seu flanco esquerdo a montante do fluxo, favorável à ciclólise.

5. Conclusão

As situações de vento tempestuoso de escala sinóptica, analisadas neste trabalho, são, na sua maioria, causadas pela influência de depressões muito profundas e cavadas, evoluindo desde o Atlântico em direcção à Península Ibérica, a partir de ondas baroclínicas ou de depressões secundárias, integradas em correntes perturbadas de W ou SW, em processo de ciclogénese explosiva. Normalmente, o máximo de aprofundamento depressionário é atingido no quadrante NW da Península Ibérica, ou mais a NE sobre o Golfo da Biscaia, antes da perturbação entrar em fase de rápido enchimento. Para além dos fortes gradientes barométricos em torno destes núcleos depressionários, a violência dos ventos é explicada, também, pela intensa actividade frontal que acompanha as perturbações. A velocidade do fluxo nestes vórtices ciclónicos extratropicais não é homogénea, concentrando-se ao longo das descontinuidades frontais onde, a advecção e confronto entre massas de ar com características de temperatura, humidade e densidade muito contrastadas, acentua a baroclinicidade da troposfera e reforça a velocidade dos ventos à sua aproximação e passagem. Especialmente no caso de frentes frias, ou no de frentes oclusas que espiralam em torno do centro das depressões, que se constituem assim como perturbações de núcleo quente, com intrusões de ar frio e seco estratosférico, e que podem gerar correntes de jacto a SE ou a E do contorno ocluso, responsáveis por campos de vento, à superfície, na fronteira entre as escalas sinóptica e subsinóptica, particularmente violentos, de tempestuosos a ciclónicos.

Porém, a intensidade e evolução da ciclogénese extratropical tem como primeira causa a posição latitudinal, o traçado e a intensidade do *jet-stream* polar nos níveis altos da troposfera. Para que as perturbações frontais atinjam em pleno Portugal Continental, o *jet* tem que estar suficientemente deslocado para as latitudes da Península Ibérica, sobrepondo-se à sua metade meridional em caso de circulação zonal. No caso de circulações meridianas, porque as perturbações são alimentadas pelo flanco oriental de ondulações ciclónicas ou por células com vorticidade ciclónica autónoma, o *jet*, no seu contexto, tem que se sobrepor ao território português ou contorná-lo meridionalmente, com circulação de SW. Em qualquer dos casos, variações marcadas da velocidade do fluxo no interior do *jet* são, também, responsáveis pela intensidade da divergência na alta troposfera, necessária para fomentar a convecção e a convergência nos níveis subjacentes, como é o caso da periferia montante direita e, especialmente, da periferia jusante esquerda dos tramos do *jet* onde ocorre uma acentuada aceleração do fluxo (*jet-streak*), constituindo, assim, áreas preferenciais de intensa ciclogénese e de forte actividade frontal, logo, responsáveis por situações de ventos tempestuosos de escala sinóptica.

Não competindo ao Geógrafo especialista em Climatologia a previsão do tempo, responsabilidade do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a avaliação dos riscos climático-meteorológicos exigem uma adequada especialização dos Climatólogos no sentido de acompanhar e compreender, com grande rigor científico, os mecanismos atmosféricos responsáveis por tipos de tempo paroxísticos. No caso concreto dos episódios de ventos tempestuosos de escala sinóptica, importa, para além do conhecimento da dinâmica atmosférica causal, caracterizar a sua probabilidade de recorrência e heterogeneidade espacial de incidência, em função de factores geográficos como o relevo e as características de ocupação do solo, a diferentes escalas (da escala regional à escala local) permitindo, assim, inscrever as conclusões em cartografia de riscos de ventos tempestuosos, com aplicação à mitigação das suas consequências.

Bibliografia:

- AHRENS, C. D. (2007) - *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment* (8th edition). International Student Edition, Thomson, USA, 537 p.
- BARRY, R. G. e CARLETON, A. M. (2001) - *Synoptic and Dynamic Climatology*. Routledge, London, 620 p.
- BOTELHO, F. e GANHO, N. (2010) - "Dinâmica anticiclónica subjacente à seca de 2004/2005 em Portugal Continental". *Actas do VI Seminário Latino-Americano e II Seminário Ibéro-Americano de Geografia Física*, Coimbra, pp. 1-14.
- BOTELHO, F. e GANHO, N. (2012a) - "Episódios de frio extremo em Portugal Continental: análise comparativa de episódios de frio seco e de frio com neve a cotas baixas". *Revista Geonorte - Edição Especial*, vol. 2, nº 4, Departamento de Geografia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Brasil, pp. 857-869.
- BOTELHO, F. e GANHO, N. (2012b) - "Dinâmica Anticiclónica Subjacente à Seca Meteorológica de 2011/2012 na Fachada Ocidental da Península Ibérica ". *Actas do XIII Colóquio Ibérico de Geografia*, Santiago de Compostela, Espanha (em publicação).
- BOTELHO, F. e GANHO, N. (2013) - "Episódios de frio extremo em Portugal Continental: intensidade, contrastes espaciais e causas sinópticas". *Cadernos de Geografia*, 32, pp. 71-79.

- FERREIRA, D. B. (1989) - *Le Climat de L'Atlantique Oriental des Açores aux Iles du Cap Vert. Contribution à l'étude du système océan-atmosphère*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris-Sorbonne, Paris IV, Tomos I, II e III, 1657 pp.
- FIALHO, J.; GOMES, C. e GANHO, N. (2010) - "Poluição por particulares e clima urbano: um estudo de magnetismo ambiental em Coimbra", *e-Terra (Revista Electrónica de Ciências da Terra)*, vol. 9, nº 19.
- GANHO, N. e MONTEIRO, A. (1989) - "Nota sobre a anomalia climática de 1 de Junho a 10 de Julho de 1988 em Portugal Continental". *Biblos*, 55, pp. 165-187.
- GANHO, N. e MONTEIRO, A. (1993) - "A anomalia pluviométrica de 1991/92 e 1992/93 no litoral Norte e Centro de Portugal". *Cadernos de Geografia*, 12, pp. 75-87.
- GANHO, N. (1996) - "Espaços verdes no interior do tecido urbano: contrastes topoclimáticos, influência bioclimática e riscos de poluição - O caso de Coimbra". *Territorium*, 3, pp. 35-56.
- GANHO, N. (1999) - "Condições teóricas de dispersão atmosférica de poluentes na área de Coimbra-Souselas - A perspectiva topoclimática da implantação de uma co-incineradora de resíduos tóxicos em Souselas". *Territorium*, 6, pp. 5-10.
- GANHO, N. (2002) - "O paroxismo pluviométrico de 2000/2001 em Coimbra - Umhas notas a montante dos riscos naturais e da crise". *Territorium*, 9, pp. 5-11.
- GANHO, N. (2009/2010) - "Precipitação em Coimbra (Portugal): regimes médios e prováveis como instrumento fundamental de análise de riscos hidrogeomorfológicos e aplicação ao ordenamento urbano", *Cadernos de Geografia*, 28/29, pp. 21-32.
- HUFTY, A. (2001) - *Introduction à la Climatologie*. De Boeck Université, Bruxelles, 542 p.
- NUNES, A.; PINHO, J. e GANHO, N. (2011/2012) - "O "ciclone" de Fevereiro de 1941: análise histórico-geográfica dos seus efeitos no concelho de Coimbra". *Cadernos de Geografia*, 30/31, (em publicação).
- PÉDELABORDE, P. (1982) - *Introduction à l'Étude Scientifique du Climat* (2ª ed.). SEDES, Paris, 353 p.
- PINTO, P. e LEITÃO, P. (2010) - *Tornado de Tomar, 7 Dezembro 2010*. Relatório Técnico, IM, 20 p.
- PINTO, P. e LEITÃO, P. (2012) - *Tornado de Silves, 16 Novembro 2012*. Relatório Técnico, IPMA, 20 p.
- PINTO, P. e SILVA, A. (2010) - *Situação de vento forte no Oeste em 23 de Dezembro de 2009*. Relatório Técnico, IM, 40 p.
- REBELO, F. e GANHO, N. (1998) - "As inundações do Outono de 1997 no Sul de Portugal". *Territorium*, 5, pp. 25-30.
- REBELO, F. (2001) - *Riscos Naturais e Acção Antrópica*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 274 p.
- REBELO, F. (2005) - *Uma Experiência Europeia em Riscos Naturais*. Minerva, Coimbra, 123 p.
- REBELO, F. (2010) - *Geografia Física e Riscos Naturais*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 215 p.
- SANDERS, F. e GYAKUM, J. R. (1980) - "Synoptic-Dynamic Climatology of the "Bomb"". *Mon Weather Rev*, 108, pp. 1589-1606.
- VOURC'H, J.-Y.; FONS, C. e STUM, M. (2002) - *Météorologie Générale et Maritime*. Météo-France, Cours et Manuels, nº 14, Trappes, 277 p.

Compensa correr o *risco* de *arriscar* viver no clima portuense? Ou será um *perigo* para a saúde que devemos evitar?

Ana Monteiro

Departamento de Geografia da Universidade do Porto, CITTA, ISPUP
anamonteirosousa@gmail.com

Resumo:

Para criar sistemas de alerta e prevenção dos riscos para a saúde durante episódios térmicos excecionais efetivamente úteis é fundamental conhecer o contexto climático ao qual os seres humanos estão *adaptados*. Esta adaptação inclui a habituação a um certo ritmo de variação da temperatura geradora de expectativas sucessivamente memorizadas, mas também as características individuais dos seres humanos (idade, genética, estado de saúde, etc.), e, as condições de vida (literacia, habitação, profissão, emprego, rendimento, etc.). Tendo este *puzzle* em consideração, e, depois de analisar as relações entre a temperatura e a mortalidade e a morbilidade na Grande Área Metropolitana do Porto, entre 2002 e 2007, parece recomendável acionar os sistemas de prevenção de riscos climáticos para a saúde dos portuenses no caso dos eventos extremos de calor a partir do percentil 70 (P70: $T_{\min} \geq 15^{\circ}\text{C}$ e $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) e no caso dos extremos de frio abaixo do percentil 30 (P30: $T_{\min} \leq 5^{\circ}\text{C}$ e $T_{\max} \leq 13^{\circ}\text{C}$). E estes dois elementos - temperatura mínima e máxima - deverão ser considerados em simultâneo porque, quer no caso do calor extremo, quer no de frio extremo, são tão importantes os contextos diurnos como os noturnos, dadas as frágeis condições de isolamento dos envelopes artificiais onde vivem *indoor*.

Palavras-chave: Riscos Climáticos. Eventos térmicos extremos. Mortalidade. Morbilidade.

Abstract:

To create efficient warning systems and prevent the health negative risks during extreme thermal events it is essential to know the local climate context to which humans are *adapted*. This adaptation includes the familiarization to a certain pattern of temperature variation and the expectations memorized but also, the individual characteristics of human beings (age, genetics, health, etc.), and the living conditions (housing, literacy, job, income, etc.). Having this puzzle in consideration and after analysing the relationships between temperature and mortality and morbidity in the Porto metropolitan area, since 2002 till 2007, it seems worthwhile to trigger the climatic risk prevention systems for the health of Porto's citizens in the case of extreme heat events since the 70th percentile (P70: $T_{\min} \geq$ and $T_{\max} \geq 15^{\circ}\text{C}$ and 25°C), and in the case of extreme cold below the 30th percentile (P30: $T_{\min} \leq 5^{\circ}\text{C}$ and $T_{\max} \leq 13^{\circ}\text{C}$). And these two elements - minimum and maximum temperature - should be considered at the same time as in the case of extreme heat or extreme cold they are equally important. The nocturnal contexts, given the fragile insulating conditions of artificial envelopes at Porto where people live indoor are as important as daily environment.

Keywords: Climatic Risks. Thermal extreme events. Mortality. Morbidity.

1. Preâmbulo

Há cerca de 30 anos o Professor Fernando Rebelo *correu o risco*, isto é, expôs-se ao *perigo* de aceitar acompanhar-me na minha aprendizagem geográfica. Para mim foi sempre uma âncora presente e indispensável, um apoio e um abrigo em todas as horas que procuro imitar, embora saiba que dificilmente conseguirei sequer assemelhar-me. Ajudou-me a crescer e a consolidar o conhecimento sem jamais interferir com a minha liberdade de decisão. Foi-me sempre mostrando que o caminho faz-se caminhando e que o essencial nesta opção de vida - a investigação científica e a docência - é nunca abdicar da ética, da seriedade, da responsabilidade e do trabalho, e, não deixar jamais de alimentar a enorme vontade em aprender. Não sei se interpretei bem, mas sempre julguei que o Professor Fernando Rebelo prefere “...antes o voo da ave, que passa e não deixa rasto, que a passagem do animal, que fica lembrada no chão...” (CAEIRO, 1914), e, que valoriza sobretudo que o que é “... importante não é aquilo que fazem de nós mas o que nós mesmos fazemos do que os outros fizeram de nós...” (SARTRE, 1965).

Este contributo é, portanto, para mim uma grande honra, mas também uma incomensurável responsabilidade. O *risco climático* para a saúde dos seres humanos é uma interrogação que, na minha vida académica, surgiu na sequência da convicção profunda que mantenho quanto à vocação especial da geografia para tornar os seus conhecimentos úteis à sociedade, enquanto disciplina com competências especiais para a percepção das inúmeras interrelações entre os fenómenos e os processos que dão carácter a um lugar. Ao lidar com a observação, a análise e a representação gráfica de fenómenos a diversas escalas temporais e espaciais, e, com comportamentos e formas de organização e de relacionamento caóticos, a geografia pode ajudar a decifrar e a resolver alguns problemas emergentes numa sociedade em constante mudança, farta em conflitualidades e onde as incertezas se multiplicam.

Sabendo que a imagem de qualquer lugar é o resultado das várias tensões existentes sobre o território geradoras de impactes nos recursos naturais, no património cultural e simbólico, na qualidade de vida e no bem estar e a resiliência desse mesmo território a todas essas pressões externas, é natural que a atitude mais avisada seja a monitorização constante tanto dos impactes como da capacidade de carga do ecossistema alvo dessas pressões. Monitorização que para além de ser integradora e inclusivista, deve ser sensível aos diversos sintomas do ecossistema. E, é precisamente na apreciação dos sintomas que sinalizam a saúde ou a doença do ecossistema que o conhecimento climatológico pode dar uma ajuda fundamental.

A climatologia é uma ferramenta útil para facilitar a escolha de organizações espaciais de sucesso como tenho procurado ilustrar à escala local e regional para além de poder ser também uma excelente motivação para a adopção de outras atitudes dos seres humanos e de outras políticas públicas que promovam efetivamente o desenvolvimento.

Este papel da climatologia pode ser verificado tanto em torno da saúde das cidades como demonstramos com *O Clima Urbano do Porto: contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território* (MONTEIRO, 1997), e, posteriormente, com a análise da importância do *modus vivendi* urbano para o agravamento das crises asmáticas dos residentes na Área Metropolitana do Porto - *CLIAS: Clima, asma e poluição*

Compensa correr o *risco de arriscar* viver no clima português?
Ou será um *perigo* para a saúde que devemos evitar?

atmosférica na AMP (MONTEIRO, 2000) - como, mais tarde, com a saúde da vinha de alvarinho, um produto importantíssimo para a economia portuguesa, num cenário de manifestações de mudança climática que deu origem a um *Atlas Agroclimatológico no Entre Douro e Minho* e cujos resultados integraram um projeto internacional que monitoriza a maioria dos vinhos de grande valor internacional (Terviclim). Ou ainda, com a experiência, mais recente, de avaliação dos *Riscos para a saúde pública causados pelas ondas de calor e vagas de frio na área do Porto* (PTDC/SAU-ESA/73016-2006), e, dos *Impactes potenciais de estados de tempo extremos no conforto outdoor em cidades europeias e as implicações no desenho urbano sustentável* (ERA NET URBAN - 2010-3411-16029-77). Por isso, pareceu-me oportuno oferecer como contributo nesta homenagem ao Professor Fernando Rebelo, que sempre me acompanhou e encorajou para resolver estas inquietações, desassossegos e sobressaltos geográficos, alguns dos resultados que podem fazê-lo sentir que não foi totalmente um “tempo perdido” a oportunidade que sempre me deu de procurar alguma utilidade social para a geografia.

2. Os riscos climáticos para a saúde humana

Os seres humanos procuram, para manter a sua saúde, garantir que a temperatura do envelope gasoso em que estão embebidos não influencie demasiado a sua temperatura corporal - que não deve oscilar muito além ou aquém dos 37°C. Para isso, o corpo humano está dotado de um conjunto de mecanismos termorreguladores que garantem a neutralidade térmica fisiológica evitando a subida ou descida da temperatura corporal quando é exposto a ambientes excessivamente quentes ou frios. A pele e o fluxo sanguíneo são os instrumentos fundamentais utilizados pelo corpo humano para garantir a manutenção da temperatura corporal dentro dos limiares essenciais ao seu bom funcionamento. Em ambientes muito quentes o corpo humano aciona a vasodilatação periférica para aumentar as perdas de calor por convecção, ativa a transpiração e reduz o metabolismo. Em ambientes excessivamente frios o corpo humano promove a vasoconstrição, arrepia os pelos para dificultar as perdas de energia por convecção através da pele e aumenta o metabolismo. Todavia, se biologicamente estiver fragilizado ou se as diferenças entre o corpo e o ar ambiente forem excecionalmente grandes, estes mecanismos automáticos podem não ser acionados ou não bastarem para garantir o bom funcionamento do corpo humano. Por este motivo, é razoável pensar que o contexto climático pode ser um dos muitos factores desencadeantes e/ou agravantes de algumas patologias (MONTEIRO, 2012a, 2012b, 2012c, 2011a).

Nos climas mediterrânicos como é o caso do Porto é vulgar acreditar que o contexto térmico apesar de irregular é ameno significando com isto que não exerce uma pressão excessiva sobre o corpo humano. Contudo, a análise cuidada da sazonalidade térmica e sobretudo da variabilidade do ritmo anual, mensal e diário da temperatura, neste subtipo climático, evidencia bons motivos para atenuar o mito da parcimónia quanto aos valores de temperatura vivenciados (MONTEIRO, 2012c, ANALITIS, 2008, ELLIOT, 2008, HASSI, 2005, EUROWINTER, 1997).

O acervo de registos de temperatura, com mais de um século, da estação do Porto Serra do Pilar (Figura 1), testemunha precisamente esta enorme irregularidade térmica e corporiza

um contributo insubstituível para modificar o preconceito errado sobre o conforto térmico vivenciado pelos seres humanos nestes contextos mediterrânicos e que justifica, por exemplo, que tenhamos, em Portugal, alguma preocupação com o calor excessivo mas ignoremos totalmente os riscos do frio (MONTEIRO, 2012a).

A análise da sobremortalidade e da sobremorbilidade realizada a partir da mortalidade diária (todas as causas), disponibilizada pelo *Instituto Nacional de Estatística* (INE), e, dos internamentos diários nos hospitais Santos Silva, Santo António, S. João e Pedro Hispano facultados pela *Administração Central dos Serviços de Saúde* (ACSS), entre 2002 e 2007, revela coincidências temporais de agravamento da doença durante episódios térmicos excepcionais que não podem ser ignoradas (Quadros I e II). Mais, exprimem até com uma grande clareza a importância da *adaptação* na avaliação dos impactes da temperatura na saúde humana. Note-se, a este propósito, como os limiares de temperatura considerados excepcionais nestes contextos climáticos são bem diversos dos sugeridos na definição de *onda de calor* e *vaga de frio* da *Organização Meteorológica Mundial* (OMM).

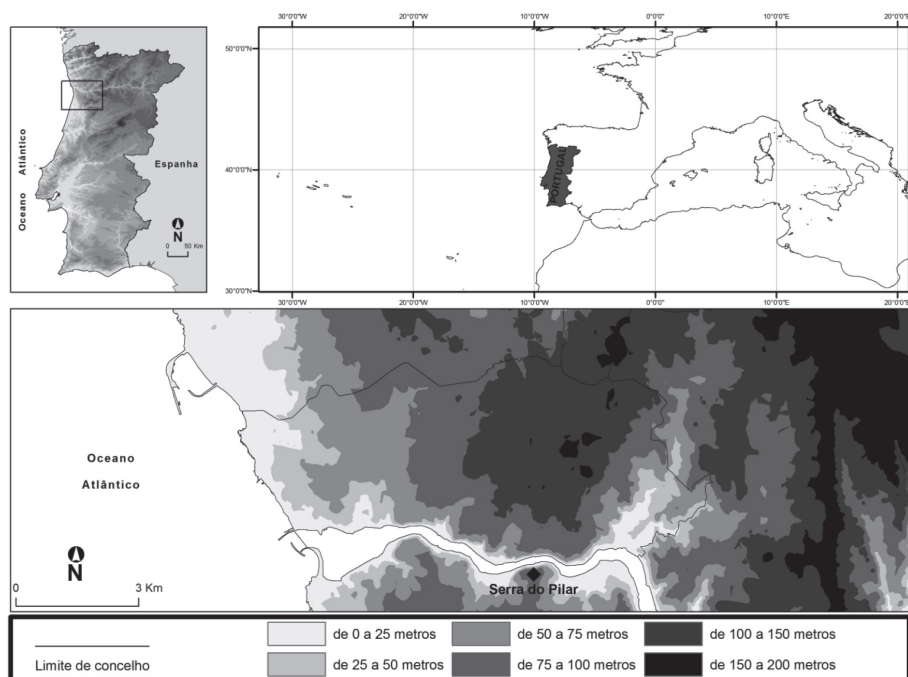


Figura 1
Localização da estação climatológica de Porto Serra do Pilar.

Compensa correr o *risco de arriscar* viver no clima portuense?
Ou será um *perigo* para a saúde que devemos evitar?

Quadro I

Sobremortalidade e sobremorbilidade, entre 2002 e 2007, na Grande Área Metropolitana do Porto durante episódios extremos de calor (MONTEIRO, 2012a). O contexto térmico é expresso pela *Temperatura Média Radiante* (Tmrt), pela *Physiological Equivalent Temperature* (PET) e pelo Heat Index (HI).

EVENTO EXTREMO DE CALOR	Observados (O)	Esperados (E)	(O-E)	(O-E) / E *100		Tmrt	PET	HI
MORTALIDADE								
30 julho - 12 agosto 2003	490	365	126	34%		[41-62°C]	[27-47°C]	[34-41°C]
11 - 18 julho 2006	313	226	87	39%		[45-63°C]	[31-45°C]	[23-51°C]
3 - 13 agosto 2006	351	281	70	25%		[56-62°C]	[31-45°C]	[31-37°C]
MORBILIDADE								
DOENÇAS RESPIRATÓRIAS (TODAS AS CAUSAS)								
30 julho -12 agosto 2003	288	229	60	26%		[41-62°C]	[27-47°C]	[23-51°C]
11 - 18 julho 2006	204	144	60	42%		[45-63°C]	[31-45°C]	[34-41°C]
3 - 13 agosto 2006	237	173	64	37%		[56-62°C]	[31-45°C]	[31-37°C]
DOENÇAS CIRCULATORIAS (TODAS AS CAUSAS)								
11 - 18 julho 2006	232	215	17	8%		[45-63°C]	[31-45°C]	[34-41°C]
BRONQUITE E ASMA								
8 - 11 julho 2005	6	3	3	88%		[55-58°C]	[37-39°C]	[31-36°C]
3 - 13 agosto 2006	26	12	14	112%		[56-62°C]	[31-45°C]	[31-37°C]
DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA								
11 - 18 julho 2006	24	11	13	118%		[45-63°C]	[31-45°C]	[34-41°C]
3 - 13 agosto 2006	26	15	11	76%		[56-62°C]	[31-45°C]	[31-37°C]
PNEUMONIA E PLEURISIA								
11 - 18 julho 2006	41	24	17	68%		[45-63°C]	[31-45°C]	[34-41°C]
3 - 13 agosto 2006	39	25	14	56%		[56-62°C]	[31-45°C]	[31-37°C]
ENFARTE DO MIOCÁRDIO								
12 - 15 agosto 2005	12	10	2	15%		[57-63°C]	[40-44°C]	[34-37°C]
ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL								
12 - 15 agosto 2005	20	15	5	30%		[57-63°C]	[40-44°C]	[34-37°C]
11 - 18 julho 2006	31	29	2	7%		[45-63°C]	[31-45°C]	[34-41°C]
INSUFICIÊNCIA CARDÍACA								
8 - 11 julho 2005	12	10	2	20%		[55-58°C]	[37-39°C]	[31-36°C]
3 - 13 agosto 2006	29	25	4	15%		[56-62°C]	[31-45°C]	[31-37°C]

Quadro II

Sobremortalidade e sobremorbilidade, entre 2002 e 2007, na Grande Área Metropolitana do Porto durante episódios extremos de frio (MONTEIRO, 2012a). O contexto térmico é expresso pela *Temperatura Média Radiante* (Tmrt), pela *Physiological Equivalent Temperature* (PET) e pelo Heat Index (HI).

EVENTO EXTREMO DE FRIO	Observados (O)	Esperados (E)	(O-E)	(O-E) / E *100	Tmrt	PET
MORTALIDADE						
20 janeiro - 20 fevereiro 2005	1316	1171	145	12%	[-6°C-4°C]	[-6°C-1°C]
23 fevereiro -11 março 2005	751	559	192	34%	[-6°C-3°C]	[-9°C-(-1)°C]
19 - 27 dezembro 2006	358	297	61	21%	[-2°C-3°C]	[-5°C-(-1)°C]
MORBILIDADE						
DOENÇAS RESPIRATÓRIAS (TODAS AS CAUSAS)						
20 janeiro - 20 fevereiro 2005	1319	1045	274	26%	[-6°C-4°C]	[-6°C-1°C]
23 fevereiro - 11 março 2005	598	455	143	31%	[-6°C-3°C]	[-9°C-(-1)°C]
19 - 27 dezembro 2006	304	209	95	46%	[-2°C-3°C]	[-5°C-(-1)°C]
DOENÇAS CIRCULATÓRIAS (TODAS AS CAUSAS)						
9 - 17 janeiro 2003	295	284	11	4%	[-6°C-(-1)°C]	[-8°C-(-4)°C]
23 fevereiro -11 março 2005	530	498	32	6%	[-6°C-3°C]	[-9°C-(-1)°C]
19 - 27 dezembro 2006	253	194	59	30%	[-2°C-3°C]	[-5°C-(-1)°C]
BRONQUITE E ASMA						
20 janeiro - 20 fevereiro 2005	125	71	54	76%	[-6°C-4°C]	[-6°C-1°C]
23 fevereiro -11 março 2005	36	28	8	27%	[-6°C-3°C]	[-9°C-(-1)°C]
19 - 27 dezembro 2006	15	12	3	29%	[-2°C-3°C]	[-5°C-(-1)°C]
DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA						
20 janeiro - 20 fevereiro 2005	151	107	44	41%	[-6°C-4°C]	[-6°C-1°C]
23 fevereiro - 11 março 2005	64	44	20	44%	[-6°C-3°C]	[-9°C-(-1)°C]
19 - 27 dezembro 2006	34	24	10	43%	[-2°C-3°C]	[-5°C-(-1)°C]
PNEUMONIA E PLEURISIA						
20 janeiro - 20 fevereiro 2005	276	185	91	49%	[-6°C-4°C]	[-6°C-1°C]
23 fevereiro -11 março 2005	137	83	54	65%	[-6°C-3°C]	[-9°C-(-1)°C]
19 - 27 dezembro 2006	82	42	40	97%	[-2°C-3°C]	[-5°C-(-1)°C]
ENFARTE DO MIOCÁRDIO						
9 - 17 janeiro 2003	39	33	7	20%	[-6°C-(-1)°C]	[-8°C-(-4)°C]
20 janeiro - 20 fevereiro 2005	121	109	12	11%	[-6°C-4°C]	[-6°C-1°C]
23 fevereiro -11 março 2005	55	54	1	1%	[-6°C-3°C]	[-9°C-(-1)°C]
19 - 27 dezembro 2006	39	26	13	51%	[-2°C-3°C]	[-5°C-(-1)°C]
ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL						
9 - 17 janeiro 2003	35	32	3	9%	[-6°C-(-1)°C]	[-8°C-(-4)°C]
20 janeiro - 20 fevereiro 2005	136	109	27	25%	[-6°C-4°C]	[-6°C-1°C]
23 fevereiro -11 março 2005	86	58	28	49%	[-6°C-3°C]	[-9°C-(-1)°C]
3 - 17 janeiro 2006	65	61	4	6%	[-1°C-5°C]	[-4°C-1°C]
19 - 27 dezembro 2006	56	27	29	107%	[-2°C-3°C]	[-5°C-(-1)°C]
INSUFICIÊNCIA CARDÍACA						
20 janeiro - 20 fevereiro 2005	107	104	3	3%	[-6°C-4°C]	[-6°C-1°C]
23 fevereiro -11 março 2005	59	56	3	5%	[-6°C-3°C]	[-9°C-(-1)°C]
3 - 17 janeiro 2006	62	55	7	12%	[-1°C-5°C]	[-4°C-1°C]
19 - 27 dezembro 2006	40	26	14	57%	[-2°C-3°C]	[-5°C-(-1)°C]

Compensa correr o *risco de arriscar* viver no clima portuense?
Ou será um *perigo* para a saúde que devemos evitar?

3. Normalidade e exceção térmica no Porto

Os resultados de sobremortalidade e sobremorbilidade durante episódios térmicos excecionais obtidos para o Porto sublinham a importância de reconhecer, a montante, o que é a *norma* e a *exceção* em cada regime térmico (GOSLING, 2009, HEALY, 2003). Este exercício é facilitado se existir uma série suficientemente longa, como acontece no Porto Serra do Pilar, porque a adaptação dos seres humanos é um processo muito lento e moroso, e, porque para avaliar os riscos climáticos na saúde dos seres humanos há dois grupos etários especialmente vulneráveis: a população jovem com menos de 2 anos de idade e a idosa com mais de 65 anos de idade.

Para avaliar o *stress* exercido pela temperatura ambiente sobre o corpo dos portuenses interessa muito pouco saber que a temperatura média anual entre 1901 e 2007 foi no Porto 14,6°C, ou que a temperatura média das mínimas foi 10,2°C e a das máximas foi 19°C (Figura 2). Já será mais importante saber que tanto as temperaturas médias como as temperaturas máximas anuais foram mais elevadas nas duas últimas décadas, e, que as temperaturas mínimas anuais mais elevadas ocorreram nas três últimas décadas. Ou ainda, que as temperaturas médias e máximas mais baixas (<13,8°C e <18,2°C) ocorreram frequentemente antes da década de 70 do século passado, enquanto as temperaturas médias mínimas mais baixas (< 9,0°C) registaram-se sobretudo até à década de 50 do século XX (Quadro III e IV).

A observação do comportamento secular da temperatura revela uma grande irregularidade que parece contudo, apontar para um incremento contínuo da temperatura (Fig. 3). Todavia, a análise do comportamento, tanto em cada uma das estações do ano, como em cada um dos meses, mostra que este ritmo tem sido muito diverso ao longo do ano (Quadro V). Enquanto a subida da temperatura média mais acentuada foi nos meses de Verão - em média 0,011°C por ano - no caso da temperatura máxima o ritmo mais elevado foi nos meses de primavera - em média 0,019°C por ano - e no caso da temperatura mínima subiu em todo o período mas a um ritmo muito mais lento.

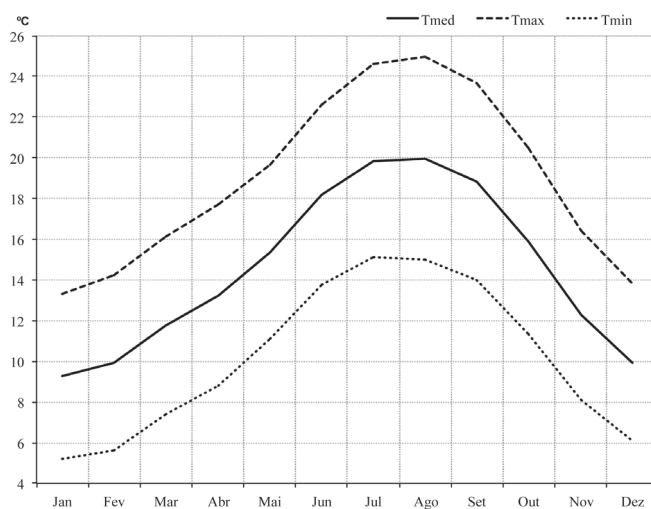


Figura 2
Temperatura média, mínima e máxima no Porto Serra do Pilar (1901-2007).

Quadro III

Média e percentis 97 (P97) e 3 (P3) da temperatura média, mínima e máxima anual no Porto Serra do Pilar (1901-2007).

	Tmédia (°C)	Tmáx (°C)	Tmin (°C)
Média	14,6	19,0	10,2
>P97	15,8	20,5	11,5
	(1995, 1997, 2006)		
<P3	13,8	17,7	9,0
	(1932, 1956, 1972)	(1901, 1909)	(1932, 1935)

Quadro IV

Comportamento excecional da temperatura no Porto (1901-2007).

Temperatura média mensal mais elevada (1901-2007)			Temperatura média mensal mais baixa (1901-2007)		
Mês	T°C	Ano em que ocorreu	Mês	T°C	Ano em que ocorreu
Jan	12,0	1966	Jan	6,5	1945
Fev	13,1	1998	Fev	6,2	1956
Mar	16,2	1997	Mar	9,2	1916
Abr	17,1	1997	Abr	10,0	1986
Mai	18,6	1922	Mai	12,8	1984
Jun	21,2	2004	Jun	15,0	1972
Jul	22,7	2006	Jul	17,2	1912
Ago	23,4	2006	Ago	17,0	1912
Set	21,8	1926	Set	16,2	1927
Out	18,8	1989	Out	12,4	1974
Nov	17,5	1902	Nov	8,5	1971
Dez	13,2	1989	Dez	6,2	1933
Anual	16,3	1997	Anual	13,6	1932

Temperatura média máxima mensal mais elevada (1901-2007)			Temperatura média mínima mensal mais baixa (1901-2007)		
Mês	T°C	Ano em que ocorreu	Mês	T°C	Ano em que ocorreu
Jan	15,1	1982	Jan	1,6	1954
Fev	18,4	1998	Fev	1,0	1956
Mar	23,3	1997	Mar	3,9	1970
Abr	22,1	1997	Abr	5,7	1932
Mai	23,7	1922	Mai	8,6	1972
Jun	26,0	1981	Jun	10,6	1972
Jul	28,1	1990	Jul	12,6	1965
Ago	29,3	2006	Ago	13,0	1963 e 1978
Set	28,3	1926	Set	10,7	1952
Out	23,8	1962	Out	7,1	1974
Nov	21,4	1902	Nov	3,7	1934
Dez	16,9	1953	Dez	1,5	1933
Anual	20,7	1997 e 2006	Anual	8,9	1932 e 1935

Compensa correr o *risco* de *arriscar* viver no clima portuense?
Ou será um *perigo* para a saúde que devemos evitar?

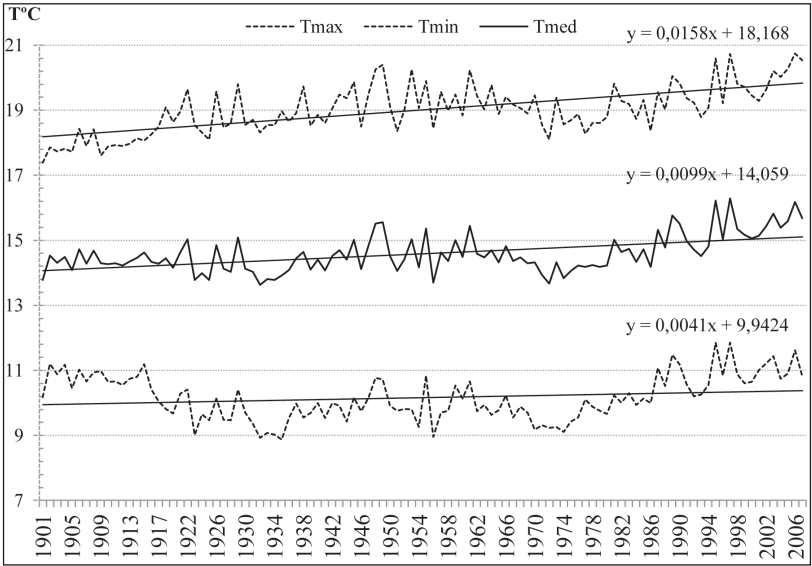


Figura 3
Temperatura média, mínima e máxima anual no Porto Serra do Pilar entre 1901 e 2007 e respetivas linhas de tendência.
Fonte: MONTEIRO, 2012a.

Quadro V
Tendência secular anual, estacional e mensal da temperatura no Porto Serra do Pilar entre 1901 e 2007

	T med		T med max		T med min	
	Tend. ano (°C)	Tend. séc. (°C)	Tend. ano (°C)	Tend. séc. (°C)	Tend. ano (°C)	Tend. séc. (°C)
Inverno	0,010	1,06	0,014	1,48	0,007	0,74
Outono	0,010	1,06	0,014	1,48	0,007	0,74
Primavera	0,009	0,95	0,019	2,01	0,00	0,00
Verão	0,011	1,17	0,018	1,91	0,004	0,42
ANO	0,009	0,95	0,015	1,59	0,004	0,42
janeiro	0,009	0,95	0,011	1,17	0,006	0,64
fevereiro	0,013	1,38	0,017	1,80	0,008	0,85
março	0,016	1,70	0,028	2,97	0,005	0,53
abril	0,006	0,64	0,015	1,59	0,002	0,21
maio	0,006	0,64	0,014	1,48	0,002	0,21
junho	0,011	1,17	0,020	2,12	0,003	0,35
julho	0,011	1,17	0,018	1,91	0,003	0,32
agosto	0,011	1,17	0,016	1,70	0,005	0,53
setembro	0,008	0,85	0,013	1,38	0,003	0,32
outubro	0,014	1,48	0,015	1,59	0,012	1,27
novembro	0,009	0,95	0,013	1,38	0,007	0,74
dezembro	0,010	1,06	0,013	1,38	0,005	0,53

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

A análise mensal revela que março e outubro foram os meses que registaram modificações mais substantivas (Quadro V). O mês de março na temperatura média e na temperatura máxima, e o mês de outubro, na temperatura mínima tiveram, em média, incrementos anuais de temperatura muito elevados (Quadro V).

4. Critérios de exceccionalidade térmica para a saúde humana

Perante este quadro de grande irregularidade térmica mas também de uma aparente manifestação de mudança não é fácil escolher o critério mais eficaz para estabelecer a fronteira entre a *normalidade* e a *exceccionalidade* térmica enquanto risco para a saúde humana dos portugueses.

Há várias opções já experimentadas em contextos climáticos diversos (Quadro VI), mas que nem sempre se adequam ao objectivo pretendido (Quadros VII e VIII), como foi demonstrado em exercícios anteriores onde se procurou aplicar a maioria deles ao caso português (MONTEIRO, 2012a; SILVA, 2012; SOUSA, 2012; MOREIRA, 2011; ESTEVES, 2010). Veja-se, meramente a título de exemplo, o resultado, para o Porto, da aplicação do critério de Diaz (DIAZ, 2002a, 2002b, 2006): um aparente incremento dos episódios de calor extremo e um decréscimo dos episódios de frio extremo (Figuras 4 e 5).

Quadro VI

Critérios de definição de eventos térmicos excepcionais utilizados na avaliação do risco climático para a saúde humana

Critérios de definição de eventos extremos de calor	
Índice Diaz	Pelo menos 2 dias consecutivos com Tmax (29°C) e Tmin (17°C) >P90 (maio-setembro)
Organização Meteorológica Mundial (OMM)	Pelo menos 6 dias consecutivos com Tmax ≥5°C da temperatura média diária do período de referência
Painel Intergovern. Alterações Climáticas (IPCC)	Pelo menos 5 dias consecutivos com Tmax ≥5°C da temperatura média diária do período de referência
Índice de Desconforto de Thom's	$ID = T - 0,55(1 - 0,01UR)(T - 14,5)$, onde T-temperatura do termómetro seco (°C) e Ur-Humidade relativa (%)
	6 dias consecutivos com Temp - nível iv (28°C a 29°C)
	5 dias consecutivos com Temp - nível v (30°C a 32°C)
	4 dias consecutivos com Temp - nível V (>32°C)
Heat Index	$HI = -42379 + 2,04901523 \times T + (10,14333127 \times R) - 0,22475541 \times T \times R - (6,83783 \times 10^{-3}) \times T^2 - 5,4481717 \times 10^{-2} \times R^2 + (1,22874 \times 10^{-3}) \times T^2 \times R + (8,5282 \times 10^{-4}) \times T \times R^2 - (1,99 \times 10^{-6}) \times T^2 \times R^2$, onde T - Temperatura do ar (°C) e R - Humidade Relativa (%)
	Pelo menos 5 dias consecutivos com Tap - nível I [27°C a 31°C]
	Pelo menos 4 dias consecutivos com Tap - nível II [32°C a 40°C]
	Pelo menos 3 dias consecutivos com Tap - nível III [41°C a 53°C]
	Pelo menos 2 dias consecutivos com Tap - nível IV [≥54°C]
Critérios de definição de eventos extremos de frio	
Índice Diaz	Pelo menos 2 dias consecutivos com Tmax (11,2°C) e Tmin (1,6°C) <P10 (Nov-Mar)
Organização Meteorológica Mundial (OMM)	Pelo menos 6 dias consecutivos com Tmin ≤5°C da temperatura média diária do período de referência
Índice de duração de vagas de frio	Pelo menos 6 dias consecutivos com Tmin <P10 Tmin (3,7°C) da série anual
Índice australiano	Pelo menos 4 noites consecutivos com Tmin ≤P10 (1,6°C) (Nov-mar)
Índice do Projecto Ondas	Pelo menos 7 dias consecutivos com Tmin ≤P30 (5°C) (Nov-Mar)

* Índices bioclimáticos - combinam mais do que uma variável climática cujo resultado final é a temperatura aparente (tap).

** No nosso trabalho, só foram contabilizados os eventos extremos iguais ou superiores ao nível iv do Índice de Desconforto.

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

Compensa correr o *risco* de *arriscar* viver no clima portuense?
Ou será um *perigo* para a saúde que devemos evitar?

Quadro VII

Comentários críticos sobre a adequação de alguns critérios de definição de eventos extremos de calor para a avaliação do risco climático para a saúde humana.

	Características		Vantagens de Utilização
	Duração	Intensidade	
Índice Diaz	Muito Curta (≤2 dias)	Intensidade muito elevada	Avaliar eventos extremos de calor de duração muito curta mas muito intensos, ao longo de 48h, entre Maio e Setembro. Avaliar o efeito da temperatura máxima e mínima, em simultâneo, com valores muito elevados.
		Segundo <i>Índice de ocorrência</i> : Tmax e Tmin > P90 (29°C e 17°C)	
		Segundo <i>Índice de intensidade</i> : (T _{ax} -P95) se Tmax>P95	
Organização Meteorológica Mundial (OMM)	Longa (≥6 dias)	Intensidade excepcional	Avaliar eventos extremos de frio em qualquer altura do ano. Avaliar eventos longos e de carácter raro.
		Tmax>5°C em relação ao período de referência	
IPCC	Longa (≥5 dias)	Intensidade elevada	Avaliar eventos extremos de frio em qualquer altura do ano. Avaliar eventos longos e de carácter raro.
		Tmax>5°C em relação ao período de referência	
Thom's	Sem duração definida	Intensidade variável em função do nível (I a VI)	Avaliar o impacto da temperatura aparente (o efeito combinado da temperatura e humidade relativa) nos níveis de conforto térmico e perigosidade para a saúde humana. Pode ser utilizado para avaliar dias isolados. É especialmente indicado para a emissão de alertas de risco térmico na saúde humana.
		Nível I - <21°C (Sem desconforto)	
		Nível II - [21°C-24°C] (Menos de metade da população sente desconforto)	
		Nível III - [25°C-24°C] (Mais de metade da população sente desconforto)	
		Nível IV - [289°C-29°C] (Mais de metade da população sente desconforto e deterioração das condições fisiológicas)	
		Nível V - [30°C-32°C] (A totalidade da população sente um elevadíssimo desconforto)	
		Nível VI - > 32°C (Emergência sanitária devido a um desconforto capaz de provocar acidentes vasculares cerebrais)	
Heat Index	Sem duração definida	Intensidade variável em função do nível (I a IV)	Avaliar o impacto da temperatura aparente (o efeito combinado da temperatura e humidade relativa) nos níveis de conforto térmico e perigosidade para a saúde humana. Pode ser utilizado para avaliar dias isolados. É especialmente indicado para a emissão de alertas de risco térmico na saúde humana.
		Nível I - [27°C-31°C] - Fadiga possível com exposição física prolongada.	
		Nível II - [32°C-40°C] - Insolação, câibras musculares, exaustão devido a exposição prolongada ou à prática de actividade física.	
		Nível III - [41°C-53°C] - Insolação, câibras musculares, exaustão provável devido ao calor. Insolação possível com exposição prolongada ou actividade física.	
		Nível IV - >54°C - Insolação e acidente vascular cerebral provável.	

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

Quadro VIII

Comentários críticos sobre a adequação de alguns critérios de definição de eventos extremos de frio para a avaliação do risco climático para a saúde humana.

	Características		Vantagens de Utilização
	Duração	Intensidade	
Índice Diaz	Muito Curta (≤2 dias)	Intensidade Muito Elevada	Avaliar eventos extremos de frio de duração muito curta e muito intensos, ao longo de 48h, entre Novembro a Março. Avaliar o efeito da temperatura máxima e mínima, em simultâneo, com valores muito baixos.
		Índice de ocorrência: Tmax e Tmin <P90 (11,2°C e 1,6°C)	
		Índice de intensidade: (T _{min} -P95) se Tmin <P95	
Organização Meteorológica Mundial (OMM)	Longa (≥6 dias)	Intensidade Excepcional	Avaliar eventos extremos de frio em qualquer altura do ano. Avaliar eventos longos e de carácter raro.
		Tmin <5°C em relação ao período de referência	
OMM - CSDI	Longa (≥6 dias)	Intensidade Moderada	Avaliar eventos durante o período mais frio do ano (Dezembro e Janeiro). Avaliar eventos longos e de carácter raro.
		Tmin <P10 (3,7°C)	
Índice Australiano	Curta (≥4 noites)	Intensidade Elevada	Avaliar eventos curtos. Avaliar o efeito isolado de temperaturas mínimas muito baixas. Admite temperaturas máximas superiores ao Índice Dáz.
		<P10 (1,6°C)	
Índice do Projecto Ondas	Muito Longa (≥7 dias)	Intensidade Fraca	Avaliar eventos extremos longos. Avaliar o efeito de temperaturas mínimas baixas mas sem carácter de excepionalidade
		Tmin ≤P30 (5°C)	

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

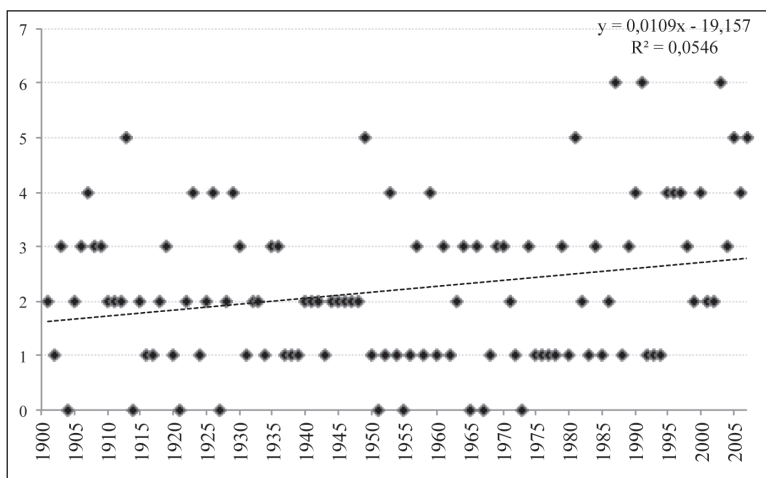


Figura 4

Tendência secular de eventos climáticos extremos de calor na GAMP segundo o critério de Diaz.

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

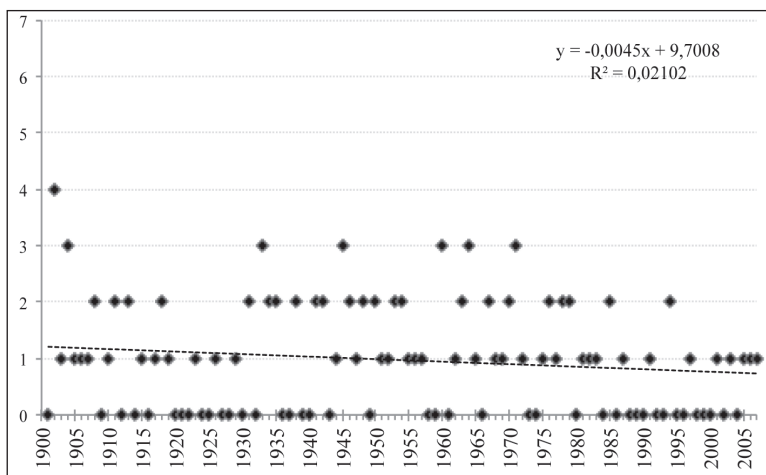


Figura 5

Tendência secular de eventos climáticos extremos de frio na GAMP segundo o critério de Diaz.

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

Contudo, quer a mortalidade, quer a morbilidade, sobretudo por causas do foro respiratório, tem sido, na Grande Área Metropolitana do Porto, bastante superior nos meses de inverno (Figuras 6 a 9). Este facto, recorrente em toda a série analisada, sugere a necessidade de observar cuidadosamente os limiares de resistência ao calor mas também ao frio apesar dos invernos não registarem, como em latitudes superiores, temperaturas muito baixas em valor absoluto e os invernos estarem a ser tendencialmente em média cada vez menos frios (Quadro V e Figura 5).

Compensa correr o *risco de arriscar* viver no clima portuense?
 Ou será um *perigo* para a saúde que devemos evitar?

A sazonalidade com amplitudes térmicas diárias, mensais e anuais consideráveis são seguramente muito exigentes para os mecanismos termorreguladores do corpo humano e impõem condicionantes específicas à construção dos abrigos onde os seres humanos passam uma boa parte do seu tempo de vida.

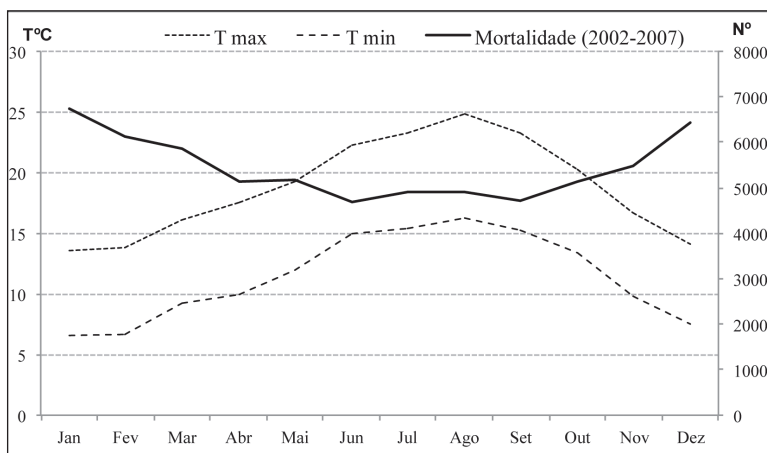


Figura 6
 Mortalidade entre 2002 e 2007 na Grande Área Metropolitana do Porto.
 Fonte: MONTEIRO, 2012a.

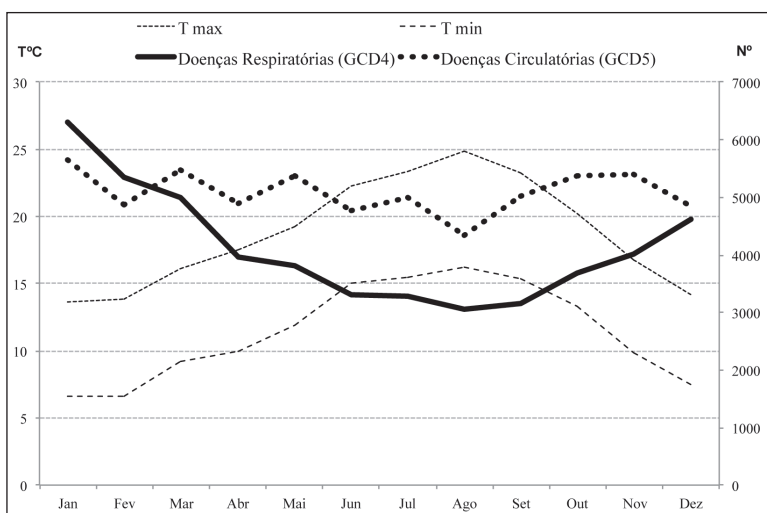


Figura 7
 Internamentos, entre 2002 e 2007, nos hospitais Santos Silva, Santo António, S. João e Pedro Hispano, de residentes na Grande Área Metropolitana do Porto.
 Fonte: MONTEIRO, 2012a.

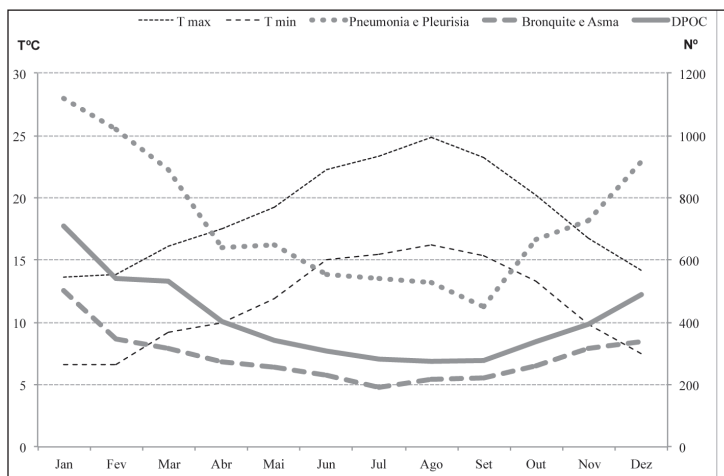


Figura 8

Internamentos, entre 2002 e 2007, nos hospitais Santos Silva, Santo António, S. João e Pedro Hispano, de residentes na Grande Área Metropolitana do Porto com pneumonia e pleurisia, bronquite e asma e DPOC.

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

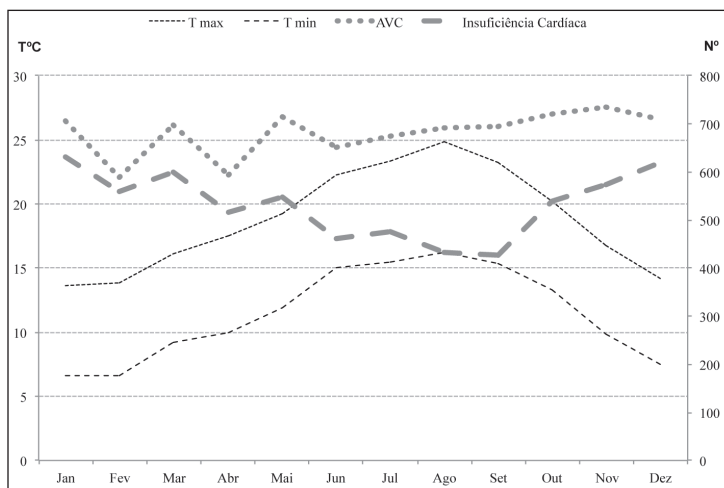


Figura 9

Internamentos, entre 2002 e 2007, nos hospitais Santos Silva, Santo António, S. João e Pedro Hispano, de residentes na Grande Área Metropolitana do Porto com AVC e insuficiência cardíaca.

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

O edificado neste tipo de regime térmico anual implica a garantia simultânea de uma boa ventilação que possa servir as necessidades de arejamento no verão e de um bom isolamento que proteja a entrada de ar e de humidade no inverno (Quadro IX). Para além disso, em Portugal, não há tradição nem, na maioria das famílias, condições económicas para garantir o conforto térmico à custa de sistemas artificiais de aquecimento e arrefecimento.

Compensa correr o *risco de arriscar* viver no clima português?
Ou será um *perigo* para a saúde que devemos evitar?

Quadro IX

Necessidades bioclimáticas da área do Porto (%) calculadas segundo WATSON e LABS (1983).

Necessidades Bioclimáticas	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1 - Necessidades de Aquecimento	25	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
2 - Necessidades de Aquecimento	37	37	31	22	0	0	0	0	0	0	43	16
3 - Necessidades de Aquecimento	38	38	29	33	25	0	0	0	0	23	43	21
4 - Necessidades de Aquecimento	0	11	23	26	28	15	4	3	13	26	14	16
5 - Necessidades de Aquecimento	0	0	17	19	46	53	53	48	48	52	0	30
6 - Necessidades de Humidificação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 - Zona de Conforto Térmico	0	0	0	0	0	32	43	47	39	0	0	14
8 - Necessidade de Desumidificação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 - Necessidade de Arrefecimento Total e Desumidificação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 - Necessidade de Arrefecimento Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 - Necessidades de Arrefecimento Total	0	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0	0	0.2
12 - Necessidade de Arrefecimento Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13 - Necessidade de Arrefecimento Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14 - Necessidade de Arrefecimento Total e Humidificação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 - Necessidade de Arrefecimento Total e de Desumidificação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 - Necessidade de Arrefecimento Total e de Desumidificação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 - Necessidade de Arrefecimento Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0g

Por tudo isto, os riscos climáticos para a saúde humana não podem estar associados exclusivamente às circunstâncias tão absolutamente extraordinárias (P97 ou P99 para o calor e P1 ou P3 para o frio), porque com valores bem mais frequentes é muito provável que existam já riscos de agravamento de doenças e até de morte (Quadro X a XIII).

Quadro X

Número de casos excecionais de calor entre 1901 e 2007 no Porto Serra do Pilar

	≥31°C (P97)	≥32°C	≥33°C	≥34°C (P99)	≥35°C	≥36°C	≥37°C	≥38°C	≥39°C	≥40°C	Total
1901-1910	46	22	7	4	1						80
1911-1920	73	42	26	17	12	7	1				178
1921-1930	115	92	59	41	27	11	5	1			351
1931-1940	84	61	40	30	17	14	8	4	1	1	260
1941-1950	124	85	56	32	26	15	9	4	2		353
1951-1960	80	57	33	17	9	6	1	1			204
1961-1970	125	92	64	42	22	11	1	1			358
1971-1980	75	50	28	12	7	4	1				177
1981-1990	126	88	66	45	27	17	9	2			380
1991-2000	108	79	52	34	17	7	3				300
2001-2007	114	87	63	41	24	15	9	3	2		358
Total	1070	755	494	315	189	107	47	16	4	1	2999

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

Quadro XI

Número de casos excecionais de frio entre 1901 e 2007 no Porto Serra do Pilar.

	$\leq 1^{\circ}\text{C}$ (P3)	$\leq 0^{\circ}\text{C}$	$\leq -1^{\circ}\text{C}$ (P1)	$\leq -2^{\circ}\text{C}$	$\leq -3^{\circ}\text{C}$	$\leq -4^{\circ}\text{C}$	Total
1901-1910	60	20	3	2	1		86
1911-1920	76	30	11	1			118
1921-1930	127	63	26	10	3		229
1931-1940	200	133	76	25	8	1	443
1941-1950	145	88	44	18	3	1	299
1951-1960	151	97	44	18	5		315
1961-1970	143	67	25	5			240
1971-1980	121	56	13	4			194
1981-1990	78	40	17	6	1		142
1991-2000	60	23	1				84
2001-2007	43	9	2				54
Total	1204	626	262	89	21	2	2204

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

Quadro XII

Duração de sequências de dias com temperaturas excecionalmente elevadas entre 1901 e 2007 no Porto Serra do Pilar.

Número de dias consecutivos com Tmax $\geq 31^{\circ}\text{C}$ (P97)									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1901-1910	9	2	1	0	0	0	0	0	0
1911-1920	7	4	3	2	0	0	0	0	0
1921-1930	11	9	5	0	1	1	0	0	0
1931-1940	11	5	1	4	0	0	0	0	0
1941-1950	21	8	3	1	1	0	0	0	0
1951-1960	7	5	3	1	0	0	0	0	0
1961-1970	16	10	5	0	2	0	0	0	0
1971-1980	13	3	2	1	0	0	0	0	0
1981-1990	13	9	5	3	0	0	1	0	0
1991-2000	15	7	3	1	0	0	0	1	0
2001-2007	15	6	5	2	0	1	0	0	1
Total	138	68	36	15	4	2	1	1	1

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

Quadro XIII

Duração de sequências de dias com temperaturas excecionalmente baixas entre 1901 e 2007 no Porto Serra do Pilar.

Número de dias consecutivos com Tmin $\leq 1^{\circ}\text{C}$ (P3)									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1901-1910	14	1	0	0	0	1	0	0	0
1911-1920	10	1	2	2	0	0	0	0	0
1921-1930	12	6	4	0	2	0	1	0	0
1931-1940	11	11	4	9	3	1	0	1	1
1941-1950	16	5	8	3	1	0	1	0	0
1951-1960	18	3	5	2	4	2	0	0	0
1961-1970	13	9	5	2	2	1	1	0	0
1971-1980	13	6	2	4	2	0	0	0	0
1981-1990	8	1	1	2	0	0	0	0	2
1991-2000	7	3	2	1	0	0	0	0	0
2001-2007	5	1	2	1	0	0	1	0	0
Total	127	47	35	26	14	5	4	1	3

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

Compensa correr o *risco de arriscar* viver no clima portuense?
Ou será um *perigo* para a saúde que devemos evitar?

Assim, foi criada uma grelha de classificação de excecionalidade térmica para a área portuense que pondera concomitantemente a raridade do valor registado e a duração do episódio (Quadro XIV).

Quadro XIV

Ranking de excecionalidade térmica no Porto tendo em conta a magnitude e a intensidade do evento.

Evento extremo de calor	Gravidade	Evento extremo de Frio	Gravidade
Julho e Agosto de 2003	1º	Janeiro e Fevereiro de 2005	1º
Agosto de 2006	2º	Fevereiro e Março de 2005	2º
Julho e Agosto de 1987	3º	Janeiro de 2006	3º
Agosto de 1949 e julho de 1990	4º	Janeiro de 2003	4º
Julho de 1928, Agosto de 1995, Julho e Agosto de 1997 e Julho de 2006	5º	Dezembro de 2006	5º

Fonte: Monteiro, 2012a.

E, como a série de registos de mortalidade diária por freguesia, disponibilizada pelo INE, tem início em 2002 e a morbilidade diária nos quatro hospitais públicos principais da área portuense, facultada pela ACSS, circunscreve-se ao período 2000-2007, estimamos a sobremortalidade e sobremorbilidade apenas nos eventos extremos dentro deste período comum (Quadro I e II).

Quer a mortalidade diária, quer a morbilidade diária evidenciam um aumento notável durante episódios excecionais de temperatura (Quadro I e II). No caso da mortalidade atingiu nos eventos extremos de calor mais 39% de óbitos relativamente à média dos períodos homólogos e nos eventos extremos de frio mais 34% de óbitos (Quadro I e II). Na morbilidade destaca-se a sobremorbilidade por bronquite e asma e por DPOC durante os eventos extremos de calor com mais de 100% de óbitos e nos eventos extremos de frio a sobremorbilidade por bronquite e asma, pneumonia e pleurisia e por AVC (Quadro I e II).

5. Considerações Finais

A análise combinada dos critérios de excecionalidade mais utilizados na literatura internacional e o conhecimento das especificidades do clima da área portuense ao longo do último século associada ao perfil sócioeconómico desta área em concreto, sugere que os alertas sobretudo para os grupos populacionais mais vulneráveis deveriam ser substantivamente modificados. De acordo com esta e outras análises efectuadas (MONTEIRO, 2012a, 2011b), fica claro que os sistemas de alerta e prevenção dos riscos para a saúde deveriam ser acionados no caso dos eventos extremos de calor logo a partir do percentil 70 (P70: $T_{\min} \geq 15^{\circ}\text{C}$ e $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$), e, no caso dos extremos de frio sempre que a temperatura descer abaixo do percentil 30 (P30: $T_{\min} \leq 5^{\circ}\text{C}$ e $T_{\max} \leq 13^{\circ}\text{C}$). E, estes dois elementos - temperatura mínima e máxima - devem ser considerados em simultâneo porque quer no caso do calor extremo, quer no de frio extremo, os contextos diurnos e os noturnos são igualmente importantes, dadas as frágeis condições de isolamento dos envelopes artificiais onde vivem *indoor* a maioria dos portuenses.

Assim, tendo em conta a mortalidade e morbilidade no período 2002 -2007, sugere-se que, para evitar que a vida dos portuenses, sobretudo os mais vulneráveis, *corra perigo*, o

sistema de prevenção de riscos climáticos para a saúde humana deveria ser, como já acontece atualmente, planeado com um conjunto de medidas e ações hierarquicamente diferenciadas a partir de limiares de resistência que contemplem a *adaptação* e a matriz social e económica da população-alvo a partir de limiares de resistência ajustados à normalidade esperada especificamente em cada lugar (Quadro XV).

Quadro XV

Limiares térmicos de risco para a saúde a partir dos registos de temperatura no Porto Serra do Pilar.

Alerta - Gravidade	Tmax	Tmin
Amarelo	[25°C-29°C[	[15°C-17°C[
Laranja	[29°C-33°C[	[17°C-19°C[
Vermelho	[33°C-37°C[	[19°C-21°C[
Castanho	≥37°C	≥21°C
=P70	25°C	15°C
=P90	29°C	17°C
=P97	33°C	19°C

Alerta - Gravidade	Tmax	Tmin
Amarelo	[13°C-11°C[	[5°C-3°C[
Laranja	[11°C-9°C[	[3°C-1°C[
Vermelho	[9°C-7°C[	[1°C-1°C[
Castanho	≤7°C	≤-1°C
=P30	13	5
=P10 Tmax ou =P15 Tmin	11	3
=P2 Tmax ou =P7 Tmin	9	1

Fonte: MONTEIRO, 2012a.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, M. (2012) - *Fundamentação teórica para a criação de um sistema de alerta e resposta online durante episódios térmicos de calor extremo para uma unidade de saúde da GAMP*. Dissertação de Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território. Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- ANALITIS, A. *et al.* (2008) - "Effects of Cold Weather on Mortality: Results from 15 European Cities Within the PHEWE Project". *American Journal of Epidemiology*, 168(12), pp. 1397-1408.
- ASTROM, D., FORSBERG, B. e ROCKLOV, J. (2011) - "Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies". *Maturitas*, 69, 2011, p. 99-105 doi:10.1016/j.maturitas.2011.03.008.
- DÍAZ, J.; GARCIA, R.; LOPEZ, C. e JORDAN, A. (2002a) - "Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly". *Arch Occup Environ Health*, 75, 2002a, pp. 163-170. doi 10.1007/s00420-001-0290-4.
- DÍAZ, J. *et al.* (2002 b) - "Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997". *J Biometeorol*, 46, 2002b, pp. 145-149. doi 10.1007/s00484-002-0129-z.
- DÍAZ, J.; GARCIA-HERRERA, Trigo R. e LINARES C. (2006) - "The impact of summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it?". *J Biometeorol*, 50, 2006, pp. 159-166. doi 10.1007/s00484-005-0005-8.

**Compensa correr o risco de arriscar viver no clima portuense?
Ou será um perigo para a saúde que devemos evitar?**

- ELLIOT, A. *et al.* (2008) - "Acute respiratory infections and winter pressures on hospital admissions in England and Wales 1990-2005", *Journal of Public Health*, 30(1), pp. 91-98.
- ESTEVES, F. (2011) - *O contributo dos SIG para compreender a relação entre os episódios extremos de temperatura e de variabilidade térmica na época de transição Primavera - Verão e a ocorrência de enfartes de miocárdio no concelho do Porto*. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território. Geografia. FLUP, Porto.
- EUROWINTER GROUP (1997) - "Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe". *The Lancet*, 349 (9062), pp. 1341-1346.
- HASSI, J. (2005) - "Cold Extremes and Impacts on Health". *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, pp. 59-67.
- HEALY, J. (2003) - "Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors". *Journal of Epidemiology & Community Health*, 57, pp. 784-789.
- GOSLING S.; MCGREGOR G. e LOWE, J. (2009) - "Climate change and heat-related mortality in six cities Part2: climate model evaluation and projected impacts from changes in the mean and variability of temperature with climate change". *International Journal of Biometeorology*, 53, 2009, 31-51 DOI 10.1007/s00484-008-0189-9.
- MONTEIRO, A. *et al.* (2012a) - *Atlas da saúde e da doença - vulnerabilidades climáticas e socioeconómicas na Grande Área Metropolitana do Porto e Concelho do Porto*. Disponível em: https://www.dropbox.com/sh/2jad5pdf1hf978x/_MsLVsdvsp.
- MONTEIRO, A. *et al.* (2012 b) - "Excess mortality and morbidity during July 2006 Heat Wave in Porto, Portugal". *International Journal of Biometeorology*, 57(1), pp. 155-167.
- MONTEIRO A. *et al.* (2012c) - "The use of Cold Spell's Index to quantify the excess of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) morbidity during Winter: Case Study of Porto". *International Journal of Biometeorology*. Publicado online: http://download.springer.com/static/pdf/280/art%253A10.1007%252Fs00484-012-0613-z.pdf?auth66=1361290565_9724d4f19e92a13de6a806a7e87fc6cb&ext=.pdf.
- MONTEIRO, A. *et al.* (2011a) - "Assessing and monitoring urban resilience using COPD in Porto". *Science of the Total Environment*, 414, pp. 113-119.
- MONTEIRO, A. e CARVALHO, V. (2011b) - "Contribución del cambio climático en el diseño de políticas eficaces para promover la sostenibilidad urbana - un estudio de caso en Oporto (Portugal)". *Memorias del Seminario Internacional de Urbanismo VII*. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), México, 25 a 29 de Abril.
- MONTEIRO A. *et al.* (2011c) - "Assessing and monitoring urban resilience using COPD in Porto". *Science of the Total Environment*, DOI information:10.1016/j.scitotenv.2011.11.009 (2010 Impact Factor: 3.190; 5-Year Impact Factor: 3.366).
- MONTEIRO, A. *et al.* (2000) - *CLIAS - Exemplos de agravamento de algumas patologias do foro respiratório, relacionáveis com as modificações introduzidas pela urbanização portuense na conjuntura climática e na composição química da atmosfera* - F.C.T., PRAXIS XXI, PCSH /GEO/198/96, Porto (disponível em versão digital).
- MONTEIRO, A. (1997) - *O clima urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*. Textos Universitários de Ciências Sociais e Humanas, Fundação Calouste Gulbenkian, Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, Lisboa, 1997, pp. 486. (http://web.letras.up.pt/anamt/Actividadecientifica_Publicacoes.htm - Acedido em junho de 2013).

- MOREIRA, M. (2010) - *Os contextos biogeofísico e socioeconómico portugueses e o agravamento da saúde de indivíduos com AVC, Dispneia & Asma e Dor Torácica, expresso pelas entradas diárias na urgência do HGSA (2005-2008)*. Dissertação de Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território. Geografia. FLUP, Porto.
- SILVA, V. (2012) - *Vulnerabilidades socioeconómicas e ambientais em episódios térmicos extremos*. Dissertação de Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território. Geografia. FLUP, Porto.
- SOUSA, S. (2012) - *O estado de saúde dos idosos portugueses expresso pelos internamentos por GCD4, bronquite & asma, pneumonia e tuberculose, em momentos de ondas de calor, de Maio a Setembro (2000-2007)*. Dissertação de Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território. Geografia. FLUP, Porto.

O conforto térmico urbano e a sua perceção na cidade da Guarda: contributos para o estudo dos riscos climáticos

Emanuel de Castro

Instituto Politécnico da Guarda
emanuelcastro@ipg.pt

Ana Lopes

Instituto Politécnico da Guarda
anaventura@ipg.pt

Resumo:

O presente artigo apresenta como ponto de partida uma abordagem diferenciada ao estudo do conforto térmico. Assim, é nosso propósito estabelecer uma análise comparativa entre este conforto, mensurável através de índices elaborados para efeito, e a perceção por parte das populações, mais subjetiva, no entanto, capaz de incorporar outras variáveis que a mera mensuração muitas vezes descarta, o que nos permite, por outro lado, analisar a perceção que as populações têm em relação ao risco. Em áreas urbanas a perceção ajusta-se essencialmente à organização espacial diferenciadora e às atitudes e comportamentos em relação aos lugares e/ou sensações, tal como nos mostram os mapas mentais. Neste sentido, através da utilização metodológica diversificada (geoestatística; sistemas de informação geográfica; estudos de perceção) pretendemos desenhar um campo conceptual que nos permita entender os pressupostos que estão na base das imagens subjetivas percecionadas pela população. O alvo da aplicação metodológica será a cidade da Guarda, na qual pretende-se estabelecer uma relação entre o conforto térmico e a qualidade de vida urbana e os riscos climáticos.

Palavras-chave: Conforto térmico. Riscos climáticos. Qualidade de vida urbana. Guarda.

Abstract:

The urban thermal comfort and its perception in the Guarda: contributions to the study of climate hazards.

This article takes as a fundamental premise a differentiated approach to the study of thermal comfort. Thus, our purpose is to establish a comparison between this comfort index measured using established for the purpose, and perception of the populations, more subjective, however, capable of incorporating other variables that the mere measurement often neglected, in which may, however, analyze the perception that people have in relation to risk. In urban areas the perception fits essentially the spatial organization and differentiating attitudes and behaviors in relation to places and / or sensations, as shown by the mental maps. Thus, by using diverse methodological (geostatistics, geographic information systems, studies of perception) intend to draw a conceptual field that allows us to understand the assumptions that underlie the subjective images building by population. The aim of the methodological application will be the city of Guarda, which aims to establish a relationship between the thermal comfort and the quality of urban life and climate hazard.

Keywords: Thermal confort. Climate hazzard. Quality of urban life. Guarda.

1. Notas Iniciais

O conceito de conforto térmico implica necessariamente a definição de índices em que o ser humano sinta confortabilidade em decorrência de condições térmicas e de humidade agradáveis ao corpo. Tal como descrevemos em trabalhos anteriores (CASTRO e LOPES, 2011), esta grandeza apresenta algumas determinações, nomeadamente, a existência de efeitos indutores que os metabolismos urbanos exercem sobre as variáveis climáticas da baixa atmosfera, mesmo em cidades de média ou pequena dimensão; a forte relação entre a construção urbana e as características topográficas que provocam, na generalidade dos casos, uma intensificação das “ilhas de frescura” e dos “lagos de ar frio”, ou um atenuar e deslocação da “ilha de calor urbana” associada a setores de maior densidade de construção e circulação e, ainda, a necessidade de integrar os estudos bioclimáticos nos processos de planeamento do território, como uma variável decisiva para a melhoria do conforto bioclimático e da própria qualidade de vida urbana das populações. Por outro lado, a identificação de cenários associados ao risco climático surge na perceção individual de um modo muito mais pragmático que a mera dimensão do conceito muitas vezes sugere, como a probabilidade de ocorrência de um processo perigoso e a estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente (REBELO, 2003)

Pode-se estabelecer uma relação direta entre o conforto térmico e higrométrico urbano, o conceito de qualidade de vida e o de risco (de origem natural), entendidos como conceitos nucleares no que diz respeito ao planeamento urbano, mas nem sempre coincidentes com a perceção, mais subjetiva, que se tem dos mesmos. Como referido anteriormente, a qualidade de vida resulta do ajustamento pessoal entre um conjunto diversificado de domínios humanos e ambientais, englobando nestes últimos o ambiente natural e explicitamente o clima, e os aspetos como o ambiente construído, os recursos naturais e a segurança, onde se integra a componente climática, nem sempre entendida na sua grandeza meteorológica, mas percecionada na sua dimensão sensorial, cuja sua dimensão quotidiano traduz uma relação conceptual entre a perigosidade e a vulnerabilidade das populações. Dimensão que constitui um fator relevante na própria construção mental do risco climático em espaços urbanos.

O presente trabalho resulta, assim, de uma investigação que assume como premissa fundamental uma abordagem diferenciada a esta questão. Neste contexto, é nosso propósito estabelecer uma análise comparativa entre o conforto térmico, mensurável através de índices elaborados para efeito, a perceção por parte das populações, mais subjetiva e a sua relação com o risco climático urbano.

Os estudos da perceção em geral, e da ambiental/climática em particular, estão relacionados com os esforços para entender como os grupos humanos estruturam o seu contexto quotidiano. Por isso, alguns trabalhos dão atenção explícita à maneira pela qual o Homem percebe os elementos do seu ambiente natural e como apreende os recursos ou os riscos associados a variáveis de índole natural, tais como, cheias, secas, ondas de calor, ondas de frio, entre outras, episódios que podem constituir efetivo perigo para os indivíduos, não só de modo efetivo mas também ao nível da sua insegurança sensitiva. Especialmente em áreas urbanas a perceção ajusta-se essencialmente à organização espacial diferenciadora e às atitudes e comportamentos em relação aos lugares e/ou sensações, tal como nos mostram os mapas mentais.

Neste sentido, através da utilização metodológica diversificada (geoestatística; sistemas de informação geográfica; análise fatorial de correspondências múltiplas) pretende-se

desenhar um campo conceptual que nos permita entender os pressupostos que estão na base das imagens subjetivas percecionadas pela população, comparando-as com os dados recolhidos nos diferentes percursos itinerantes realizados. O alvo da aplicação metodológica será a cidade da Guarda, confrontando os resultados com trabalhos anteriormente desenvolvidos.

A geografia deste território tem revelado, nas últimas décadas, alterações populacionais consideráveis, resultado de dinâmicas demográficas internas e externas, que têm originado, no caso da Guarda, uma concentração urbana da sua população. Tal realidade consubstancia-se numa densificação da morfologia do construído urbano, na tentativa de responder às necessidades socioeconómicas crescentes, que se tem traduzido em alterações morfofuncionais relevantes a diferentes escalas de análise, nomeadamente com o desenvolvimento de novas áreas urbanas em antigos espaços periurbanos.

Se equacionarmos esta problemática ao nível do planeamento urbano há questões que nos parecem relevantes e transversais, nomeadamente: qual a perceção que os habitantes têm do seu próprio conforto térmico e quais as razões que estão na base da mesma? Como se traduz o conceito de risco climático no quotidiano percebido das populações?

2. Enquadramento conceptual e metodológico

As aglomerações urbanas, mesmo as de dimensão modesta, têm impacto nas características climáticas das áreas urbanas, nomeadamente na temperatura e no seu comportamento (GANHO, 1998). As características climáticas em espaços urbanos resultam, em larga medida, das modificações que as superfícies, materiais e as atividades urbanas (áreas densamente povoadas) provocam nos balanços de energia, massas e movimentos (ARNFIELD, 2003). Por outro lado, os processos de urbanização expansivos destes territórios, muitas vezes sem estratégias eficazes de planeamento, têm conduzido a alterações bioambientais, nomeadamente no incremento da temperatura das superfícies e do ar, com efeitos diretos no conforto térmico das populações e no aumento da sua vulnerabilidade face ao risco.

O clima urbano afeta diretamente a saúde e o bem-estar dos grupos humanos que ocupam esses espaços. Desta forma, torna-se de extrema importância, face às crescentes tendências de urbanização, de modo particular na área geográfica correspondente à área de estudo, analisar e identificar áreas privilegiadas para expansão urbana (construção de novos edifícios de grandes dimensões; modificações em estruturas urbanas já existentes; novas implantações urbanas e alterações na morfoestrutura da cidade). Por outro lado, a topografia representa um importante fator na explicação do fenómeno do Clima Urbano. GANHO (1992) refere que a influência da topografia pode ser tão forte que a magnitude da Ilha de Calor acaba por depender mais da morfologia local do terreno do que do complexo térmico urbano. Pela análise já desenvolvida, a cidade da Guarda é um caso efetivo dessa constatação.

O conceito de qualidade de vida é um conceito abrangente e no qual se interligam diversas abordagens e diversas problemáticas, entre elas as que dizem diretamente respeito ao clima e em partícula os seus impactes térmico e higrométricos na vida das populações. Na verdade, a mensuração desta grandeza torna-se algo subjetiva, resultando muitas vezes da perceção de cada indivíduo face ao seu contexto envolvente, para a qual contribuem diversos fatores, internos e externos, nem sempre controláveis, tais como: contexto socioeconómico,

estilo e formas de vida, hábitos de vida e as próprias determinações geográficas. No plano metodológico, estes objetivos são conseguidos através da realização de inquéritos e de entrevistas através dos quais as opiniões de natureza subjetiva são recolhidas de forma direta (LEVER, 2000, MICHALSKI, 2001 e WYMAN, 2001). Estes inquéritos são um instrumento de apoio ao planeamento e à gestão do risco já que se reconhece que esta é uma importante ferramenta de decisão e participação pública.

Assim, no sentido de dar cumprimento aos pressupostos iniciais do trabalho optámos por seguir uma metodologia que privilegiou a utilização de métodos estatísticos. Para a análise dos dados itinerantes utilizou-se a geoestatística e na análise dos inquéritos à percepção da população a escolha recaiu na estatística multivariada, em particular na Análise Fatorial de Correspondências Múltiplas (Quadro I).

Quadro I
Síntese metodológica

Método	Objetivos
Definição dos pontos e percurso itinerante	Identificar uma rede de pontos itinerantes para recolha de dados climáticos - humidade e temperatura, para o período entre Julho de 2009 e Dezembro de 2011.
Recolha de dados climáticos	Espacializar o comportamento térmico na cidade da Guarda em função dos valores médios recolhidos nas 18 observações itinerantes (em 22 pontos de recolha).
Normalização dos valores recolhidos	Minimizar o efeito temporal/horário existente nas recolhas itinerantes.
Aplicação de métodos estatísticos Multivariados: <i>krigagem ordinal e normal</i>	Modelar o comportamento térmico da cidade da Guarda (identificação de “ilhas de calor e frescura” urbana). Potencialidades da metodologia: um dos procedimentos mais adequados para a maioria das séries estatísticas; evidencia uma leitura e interpretação global dos fenómenos; expressa tendências sugeridas pelas séries de dados; permite interpretações diversas para as mesmas séries de dados.
Aplicação dos Inquéritos por Questionário para medir a percepção dos habitantes da cidade da Guarda relativamente ao Conforto Térmico	Aplicação de um inquérito por questionário a uma amostra estratificada por sexo e por área de residência a 100 indivíduos, cujo universo é a população residente na Guarda. O inquérito encontra-se estruturado em 29 questões, divididas por dois grandes grupos. O primeiro pretendia medir a percepção do conforto termohigrométrico dos residentes da cidade da Guarda, o segundo incidia sobre a percepção sobre a sua qualidade de vida.
Aplicação de métodos estatísticos Multivariados: <i>Análise fatorial de correspondências múltiplas</i>	Identificação de padrões espaciais relativos à percepção do conforto térmico na malha urbana da Guarda. Construção de tipologias de grupos de indivíduos face ao comportamento expresso pelos resultados do inquérito.
Territorialização dos padrões térmicos e da percepção do risco	Padronização dos dados recolhidos e comparação entre os valores medidos e a percepção, mais subjetiva, dos indivíduos face ao seu (des) conforto térmico e a sua relação com o risco climáticos. Relação com a qualidade de vida urbana.

A Geoestatística tem em consideração a localização geográfica e a dependência espacial de uma determinada variável. Tem como principais objectivos, a descrição do comportamento dos dados, a estimação de um valor desconhecido num determinado ponto do espaço e a distribuição da variável numa área ou volume de pequenas ou grandes dimensões, assim como a determinação do grau de incerteza associado às estimações. Um dos estimadores geoestatísticos utilizados é a *Krigagem*. A *Krigagem Normal* é a denominação do mais usual dos algoritmos de *Krigagem*, uma família que cobre os estimadores não-estacionários (*Krigagem Simples*, *Krigagem com Modelo de Deriva*, também conhecida por *Krigagem Universal*, e *Krigagem com Deriva Externa*) (SOARES, 2006). A *Krigagem Normal*, um dos modelos de estimação não estacionários, pressupõe que as médias da variável amostrada serão desconhecidas mas

constantes. No entanto, existem fenómenos em que os valores do atributo que se pretende estimar não têm um comportamento homogéneo dentro da área de amostra: por exemplo, os valores crescem de um modo sistemático numa dada direcção ou os valores mais elevados concentram-se localmente num ponto ou área e decrescem de um modo radial em todas as direcções (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989).

A Análise Fatorial de Correspondências Múltiplas corresponde a uma metodologia estatística que assenta nos princípios da análise fatorial de componentes principais, sendo a grande diferença resultante da natureza da informação (qualitativa) e da forma de organizar os dados (tabelas de contingência ou de codificação binária). Também a métrica utilizada é diferente, assim como o significado e a interpretação dos resultados: valores próprios, coordenadas, contribuições (absolutas e relativas). Devemos ter presente que a proximidade entre os indivíduos deve ser interpretada em termos de semelhança (dois indivíduos assemelham-se se escolhem as mesmas modalidades); a proximidade entre modalidades de variáveis diferentes indica associação (as modalidades estão mais próximas correspondendo aos mesmos indivíduos ou a indivíduos semelhantes); e a proximidade entre modalidades de uma mesma variável em termos de semelhança (semelhança entre os indivíduos ou grupos de indivíduos que escolheram as variáveis). O tratamento dos dados foi realizado com o recurso ao programa informático ANDAD 7.2 e os aspetos teóricos e metodológicos foram inspirados em LEBART, MORINEAU e PIRON, 1997 e GAMA, 2004.

A utilização simultânea dos Sistemas de Informação Geográfica e das ferramentas estatísticas permitem aplicar e otimizar métodos de interpolação mais fiáveis, que integram medidas de incerteza e a espacialização de padrões de comportamento, como iremos analisar ao longo deste trabalho. O uso adequado destas ferramentas contribui para um maior conhecimento das características espaciais das variáveis, constituindo uma importante fonte de informação para estimação de múltiplos fenómenos, nomeadamente aqueles que nos propomos analisar. Partindo das potencialidades destas ferramentas procurámos padronizar o comportamento térmico da cidade da Guarda, comparando-o com a percepção da população, assim como a própria territorialização do risco climático percecionado (Figura 1).

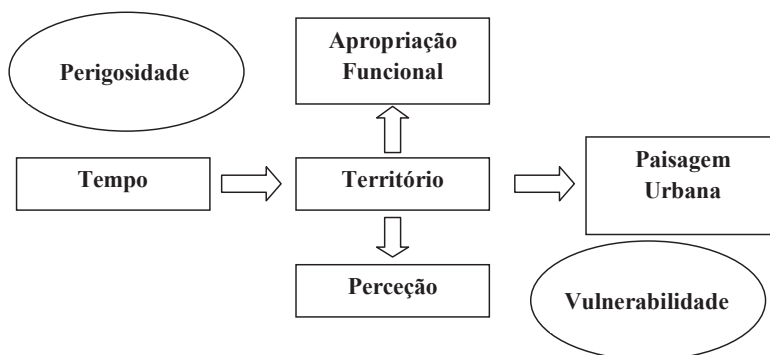


Figura 1
Território, percepção e risco

3. O conforto térmico e a qualidade de vida urbana: da mensuração à sua percepção

No sentido de dar cumprimento metodológico ao trabalho, foi realizado um conjunto de percursos itinerantes, entre os meses de Julho de 2012 e Março de 2013, com um total de 34 pontos de recolha dos quais se calcularam os valores médios de temperatura e humidade (Figura 2).

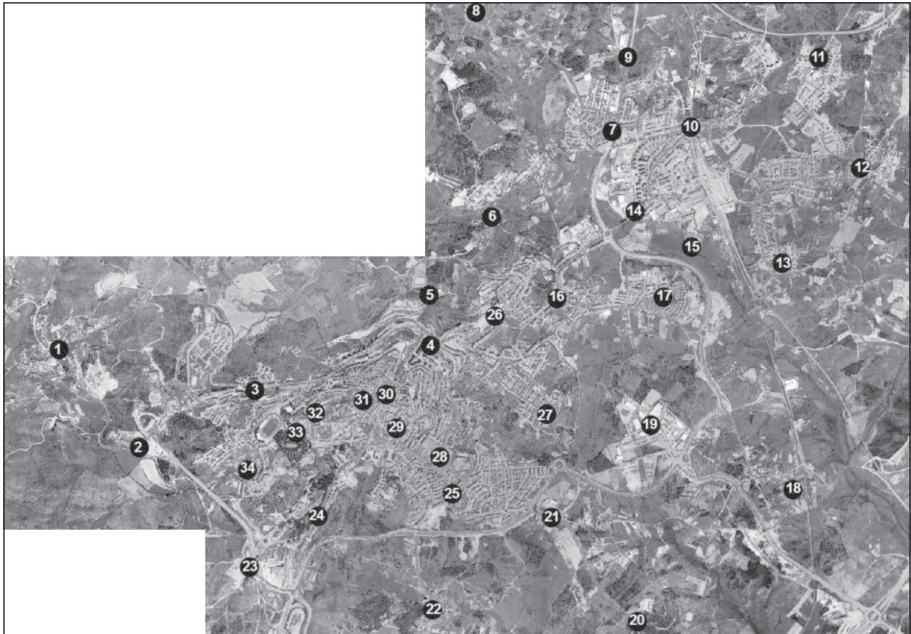


Figura 2
Percursos itinerantes e pontos de recolha de dados.

Objectivamente, pretendemos evidenciar comportamentos térmicos diferenciados na cidade da Guarda que nos permita caracterizar o conforto térmico e a sua relação com a topografia e morfologia gerais da cidade. O conforto climático surge, neste contexto, como um objectivo chave na intervenção no espaço, no sentido de avaliar influência térmica integrada das condições atmosféricas sobre as populações, embora nem sempre haja uma concordância entre os dados mensurados e a percepção das mesmas (GANHO, 1998 e ANDRADE, 2005).

Os percursos foram realizados durante o período referido (com uma periodicidade de 3 percursos por mês, num total de 21 observações), de modo a conseguirmos um período de amostragem suficientemente alargado, capaz de sustentar a metodologia e a definição de campos térmicos devidamente normalizados. Por outro lado, as opções tomadas tentaram mitigar os efeitos externos, como as condições meteorológicas extremas, apesar de reconhecermos a sua importância para a percepção do risco climático. Assim, os pontos de amostra (recolha de informação) foram seleccionados em função das diferenças topográficas, morfológicas e de ocupação do solo no espaço urbano em análise. A partir das características da morfologia

urbana e da aplicação metodológica adotada foi possível modelar o comportamento térmico urbano. Com a utilização das metodologias de geoestatística, através de ferramentas SIG, construímos algumas representações cartográficas que evidenciam, por um lado os desvios térmicos ocorridos nos diferentes espaços urbanos.

Por outro lado, foi efetuada uma análise estatística Fatorial de Correspondências Múltiplas, no sentido de analisar os resultados obtidos nos inquéritos por questionário, identificando comportamentos e padrões de percepção, quer do ponto de vista de conforto térmico, quer do risco ou do próprio perigo. Esta metodologia permitir-nos-á comparar esta dupla dimensão relativa ao conforto e à vulnerabilidade das populações. Assim, foram extraídos os seis primeiros fatores que sintetizam as diferentes respostas e percepções que realizam, em função de um conjunto de pressupostos objetivos, tais como as condições de habitabilidade, o meio envolvente, as grandezas meteorológicas e a própria relação com a qualidade de vida urbana. Com efeito, os primeiros 6 eixos/fatores explicam mais de 95 por cento da variância acumulada, sendo que a partir do sétimo eixo a informação torna-se redundante e não diferenciadora. Por outro lado, a escolha destes 6 fatores permitiu uma análise comparativa mais ajustada com os dados recolhidos, tal como discutiremos no ponto seguinte.

A partir da análise de cada um dos fatores e das suas correspondências múltiplas foi possível criar um quadro de tipologias de percepção e as suas respetivas características. Este quadro de referência metodológica sintetiza os comportamentos padronizados dos indivíduos que resultam, em grande medida, do conhecimento que possuem, da localização da sua habitação, do ano de construção da mesma ou da importância que atribuem ao clima na sua qualidade de vida e na relação com a sua vulnerabilidade face aos comportamentos climáticos observados e/ou percecionados (Quadro II).

4. O conforto térmico e a análise do risco climático: uma abordagem metodológica

As características térmicas e higrométricas apresentadas e modeladas anteriormente estão, efetivamente, associadas ao impacto do espaço construído e da morfologia urbana, razões que determinam a própria percepção que os seus residentes têm do seu conforto. No caso da área de estudo a última sobrepõe-se à primeira, fruto da topografia, em especial dos valores de altitude registados na cidade da Guarda. A natureza do clima urbano pode ser diferenciada face ao espaço envolvente, resultado de um conjunto de fatores, internos e externos, que condicionam, ampliam ou mitigam determinadas variáveis climáticas (vento, temperatura, humidade). A topografia, neste contexto, pode ter um efeito atenuador, em determinados sectores, ou de incremento noutros. No entanto, a percepção do conforto termohigrométrico entra em linha de conta com outras grandezas, de alguma subjetividade, nem sempre coincidentes as características da natureza do clima urbano, e largamente associado à interpretação individual da sua vulnerabilidade face ao perigo que algumas condições meteorológicas urbanas induzem, ou seja, em relação ao risco (Figura 3).

O risco climático assume-se como uma grandeza de difícil mensuração, uma vez as manifestações destes riscos são sentidas pelas populações diariamente, com maior ou menor acuidade, passando a estar na ordem do dia e, muitas vezes, não tanto pela gravidade das suas consequências mas tão sómente pelo incómodo ou desconforto que uma simples situação

Quadro II

Tipologias de percepção, resultantes da Matriz de Coordenadas da AFCM.

Fator	Tipologia	Características dos indivíduos e comportamentos relativos à percepção do seu conforto térmico e ao risco climático
1	Área de residência mais fria. Sentem frio em casa. Forte percepção do risco	Indivíduos maioritariamente do sexo feminino, com idades superiores a 50 anos e com nível de formação superior. Na sua maioria são naturais da Guarda e residem em Moradias, quase sempre com construção na década de 70. As habitações possuem janelas duplas e outros sistemas de isolamento e raramente utilizam o aquecimento, embora o possuam. Frequentemente sentem frio em casa e consideram a sua rua muito fria no inverno, principalmente pela proximidade a espaços verdes. No entanto, não atribuem ao clima relevância para a sua qualidade de vida.
2	Área de residência com características térmicas iguais à restante cidade. Sentem frio em casa, quando não utilizam aquecimento. Elevada percepção do risco	Indivíduos do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 30 e os 50 anos, com habitação literária igual ou superior a mestrado. Na sua maioria não são naturais da cidade da Guarda, mas residem nesta há mais de 10 anos. A sua habitação é maioritariamente moradia, construída depois do ano 2000, com janelas duplas, sistema de isolamento térmico e aquecimento. Entre outubro e março utilizam aquecimento diariamente, embora quando não o utilizam sentem frio na habitação. Consideram, do ponto de vista térmico, que a sua rua é igual às restantes da cidade. O clima é bastante importante para a sua qualidade de vida, principalmente numa cidade com valores extremos devido à altitude. Têm a percepção de que o seu conforto térmico tem aumentado, principalmente devido a alterações no tipo de aquecimento da sua residência.
3	Área de residência mais fria no inverno, mas mais quente no verão. Raramente sentem frio em casa. Elevada percepção do risco	Este eixo é constituído por indivíduos, na sua maioria, do sexo masculino entre 20 e 30 anos. Com formação superior, são naturais da cidade da Guarda e residem em apartamento com construção anterior a 1980. A habitação tem janelas duplas ou sistemas de isolamento térmico e utilizam aquecimento durante, pelo menos 7 meses, embora só o liguem algumas vezes por semana. Afirmam que raramente sentem frio em casa, embora admitam que a rua onde vivem seja muito fria no inverno, mas muito quente no verão, isto essencialmente devido à morfologia e densidade de construção urbana. Tal como outros grupos, consideram o clima um fator relevante para a sua qualidade de vida, principalmente pelo facto de terem a percepção de que a cidade é muito fria. Mesmo assim, assumem que seu conforto térmico tem aumentado, facto decorrente das mudanças do clima desta cidade.
4	Área de residência mais quente que as restantes. Sentem frio em casa com frequência. Reduzida percepção do risco	O quarto fator/eixo é caracterizado por residentes do sexo masculino, com mais de 50 anos e habitações literárias não superiores ao ensino secundário. Na generalidade não são naturais desta cidade, apesar de residirem há pelo menos 10 anos. Habitam em apartamentos com construção anterior a 1980, sem janelas duplas ou sistemas de isolamento térmico, embora possuam aquecimento que o utilizam todos os dias durante um determinado período de tempo. Afirmam que sentem frio com frequência, embora considerem a sua rua mais quente que as restantes da cidade, sobretudo devido à sua exposição solar. Classificam o clima da Guarda como muito frio no inverno e muito quente no verão, sendo relevante para a sua qualidade de vida. O afastamento ao litoral é um dos principais fatores que condicionam o clima, no entanto, também referem que o seu conforto térmico tem aumentado, principalmente devido a obras na habitação e às características do vestuário.
5	Área de residência mais fria que as restantes ruas. Sentem frio na habitação quando não ligam o aquecimento. Reduzida percepção do risco	Indivíduos do sexo feminino, jovens (entre 20 a 30 anos), com ensino básico e secundário, não naturais da cidade da Guarda. Residem nesta cidade há menos de 10 anos, com habitação permanente do tipo moradia construída posteriormente a 1990. A sua habitação possui janelas duplas, sistemas de isolamento térmico e aquecimento, sendo este último utilizado durante, pelo menos, 6 meses, algumas vezes por semana. Relativamente à percepção do seu conforto térmico, afirmam que sentem frio quando não ligam o aquecimento e consideram a sua rua mais fria que as restantes ruas da malha urbana, principalmente pela fraca exposição solar. Concordam com a importância do clima na sua qualidade de vida, principalmente pelas características do clima da Guarda, profundamente influenciado pela altitude (topografia). Segundo a sua percepção, o conforto térmico tem diminuído, essencialmente devido a alterações socioeconómicas.
6	Área de residência mais quente que a envolvente. Nunca sentem frio em casa. Percepção de risco inexistente	O último eixo fatorial é caracterizado por indivíduos do sexo feminino, com idades entre os 30 e os 50 anos, não naturais da Guarda, mas com residência há pelo menos 20 anos. Habitam em apartamento, construído posteriormente a 2000, com janelas duplas, sistemas de isolamento térmico e aquecimento. Afirmam que aquecem a habitação durante 7 meses, todos os dias, apesar de considerarem que a sua rua é mais quente que as restantes da cidade. Pelas razões expostas, nunca sentem frio em casa e consideram que possui uma boa exposição solar. O clima é relevante na sua qualidade de vida, embora não o mais importante, apesar de concordarem que o seu conforto térmico tenha diminuído, sobretudo devido a alterações no clima da cidade.

**O conforto térmico urbano e a sua percepção na cidade de Guarda:
contributos para o estudo dos riscos climáticos**

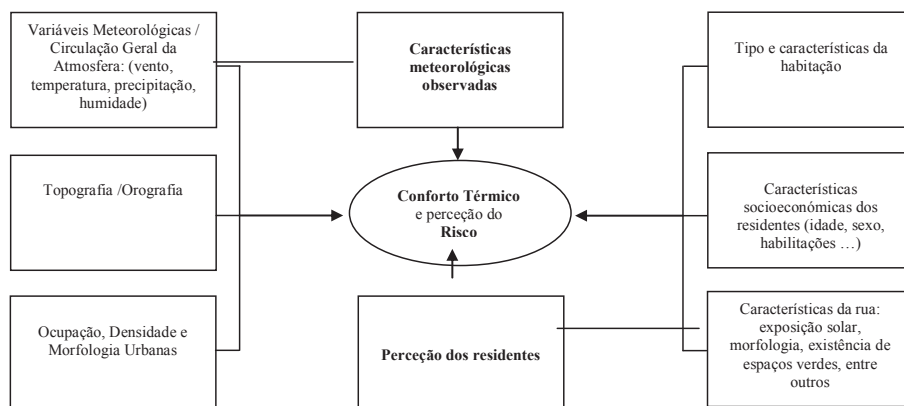


Figura 3

Síntese dos fatores e relações entre a natureza do clima urbano e a percepção do conforto termohigrométrico e do risco climático.

meteorológica pode ocasionar. Contudo, não podemos esquecer o significado de algumas noções base, como as de escala, normal e variabilidade (LOURENÇO, 2006).

Assim, tendo em conta a especificidades dos riscos climáticos, a partir dos resultados obtidos nas medições itinerantes e nos inquéritos à percepção do conforto térmico e do risco, apresentados no ponto anterior, pode-se caracterizar, de modo mais particular, as influências existentes (internas e externas) nos diferentes sectores da cidade. O Quadro III sintetiza as principais tipologias térmicas e higrométricas definidas e as principais características a elas associadas, assim como a percepção do risco inerente às condições meteorológicas sentidas e percebidas. (Quadro III).

Da análise do quadro anterior, conclui-se que a topografia exerce uma influência determinante nos comportamentos térmicos medidos, resultado, por um lado, das altitudes registadas, por outra, da dimensão do próprio tecido urbano, o que também proporciona percepções de riscos climáticos diferenciadas. A densidade de construção e de circulação provocam alterações na baixa atmosfera urbana, com efeitos ao nível da formação de “ilhas de calor urbano” ou “ilhas de secura”. Por outro lado, a percepção das populações nem sempre corresponde a estes valores, uma vez que a sua medida depende sempre de fatores externos muito diversificados e heterogéneos. Pese embora esta realidade, salienta-se o facto de haver alguma relação entre estes dois domínios metodológicos, tal como se observa na Figura 4.

As relações espacializadas nas figuras permitem retirar algumas linhas de análise, das quais destacam-se as mais significativas:

1. Influência topográfica, com efeitos nos diferentes comportamentos térmicos verificados entre os sectores mais elevados e os mais deprimidos;
2. Importância da altitude e da circulação geral do ar na deslocação da “ilha de calor urbano”;
3. Existência de um “lago de ar frio e de frescura” nos sectores mais baixos da cidade, área de expansão recente, pelo que deve ser tido em conta nas políticas de planeamento, principalmente devido a possíveis problemas de acumulação de poluentes nas áreas de tipologia AAA e AA, devido ao escoamento de ar frio para esses locais;

Quadro III

Territorialização do conforto térmico e da percepção do risco climático na cidade da Guarda

Tipologias	Características Termohigrométricas (Dados Registados)	Dados inferidos através da percepção da população
AAA Lagos de Ar Frio	Anomalia térmica negativa, com valores (°C) entre os -2.7 e os -4.3, constituindo um “lago de ar frio”; Anomalia higrométrica positiva, com valores (em %) entre os 11 e os 13.8, constituindo “ilhas de frescura e humidade”; Conforto bioclimático no período estival e desconforto no Inverno.	Fatores 1 e 2: sensação de frio, em casa e no espaço exterior. Utilização deficitária do aquecimento. A percepção de desconforto térmico resulta, por outro lado, da proximidade com espaços verdes. Risco Climático Elevado
AA Área de Frescura	Anomalia térmica negativa, mas com menor intensidade, com valores (°C) entre os -2.7 e os -0.7, constituindo uma área térmica de ar frio; Anomalia higrométrica positiva, com valores (em %) entre os 11.8 e os 5.8, constituindo “ilhas de frescura e humidade”; Conforto bioclimático no período estival.	Fatores 2 e 3: A sensação de frio em caso é diminuta, principalmente pela utilização de aquecimento adequado. Espaço envolvente mais frio que a restante cidade, principalmente no inverno, facto que diminui o conforto destas ruas. Risco Climático Significativo
A Sectores Periurbanos	Comportamento térmico médio, com valores (°C) entre os -0.7 e os 0.8, constituindo uma área térmica de transição; Valores higrométricos médios (em %), entre os 5 e 1, constituindo áreas de transição; Sectores com características periurbanas.	Fator 4: Sensação de frio no interior das habitações, principalmente devido a uma reduzida utilização do aquecimento. O espaço urbano exterior apresenta-se mais quente que o envolvente, principalmente pela boa exposição solar que apresenta. Risco Climático Reduzido
B Área de Transição Térmica	Comportamento térmico médio, tendencialmente com anomalia positiva, registando valores (°C) entre os 0.8 e 1.1, constituindo uma área térmica de transição; Valores higrométricos médios (em %), próximos da média; entre 1 a -4.1; Sectores integrados na malha urbana marcados pela existência de áreas verdes arbóreas. Conforto bioclimático.	Fatores 4 e 5: Transição entre as sensações de frio no interior da habitação e no exterior. A altitude e a circulação local do ar, fruto da morfologia urbana, assumem uma importância acrescida na percepção que os habitantes têm do seu conforto térmico. Risco Climático Reduzido
BB Áreas de Altitude	Anomalia térmica positiva, de baixa intensidade, com valores (em °C) entre 1.1 e 1.7; Anomalia higrométrica negativa, pouco significativa, com valores (em %) entre -4.1 a -10; constituindo uma “ilha de secura” intermédia. A topografia, a altitude e o tipo de construção determina um razoável conforto bioclimático.	Fatores 2, 3 e 4: A sensação de frio em caso é diminuta, principalmente pela utilização de aquecimento adequado. Espaço envolvente mais frio que a restante cidade, nas áreas de forte construção urbana, e mais quente em áreas mais “abertas”, com maior exposição solar. Risco Climático Significativo ou Reduzido
BBB Ilha de Calor e Urbano	Anomalia térmica positiva, de relativa intensidade, com formação de “ilha de calor urbano” essencialmente topográfica, registando valores médios (em °C) entre 1.7 e 2.3; Anomalia higrométrica negativa, com forte intensidade, resultado do campo térmico, com valores (em %) entre -10 e -16; constituindo uma “ilha de secura”. Conforto bioclimático no Inverno e desconforto no período estival, embora com efeitos atenuados devido à circulação do ar provocados pela altitude (efeito <i>WindShield</i>)	Fator 6: Sensação de frio praticamente inexistente, quer no interior, quer no exterior da habitação. Áreas de construção recente da cidade, beneficiando de uma melhor qualidade de construção e isolamento térmico, o que explica uma percepção relativamente diferente dos restantes fatores, mesmo em relação ao espaço exterior. Risco Climático Nulo

4. Formação de uma, bem definida, “ilha de secura” estival nos sectores com maior densidade de construção, resultado, muitas vezes, da ausência de estratégias bioclimáticas na construção dos edifícios que, não raras vezes, constituem um obstáculo à circulação do ar que permitiria a sua regeneração.
5. O conforto térmico resulta, em muitos casos, de fatores de ordem subjetiva, mas acima de tudo das relações entre o interior e o exterior das habitações;
6. As alterações socioeconómicas, produzidas nas últimas décadas, provocou alteração no modo como os habitantes percebem o seu conforto e interpretam a noção de risco;
7. Relevância das variáveis climáticas, e da percepção que delas fazem as populações, na qualidade de vida urbana, tal com indicia o resultado dos inquéritos, o que indicia uma

O conforto térmico urbano e a sua perceção na cidade de Guarda:
contributos para o estudo dos riscos climáticos

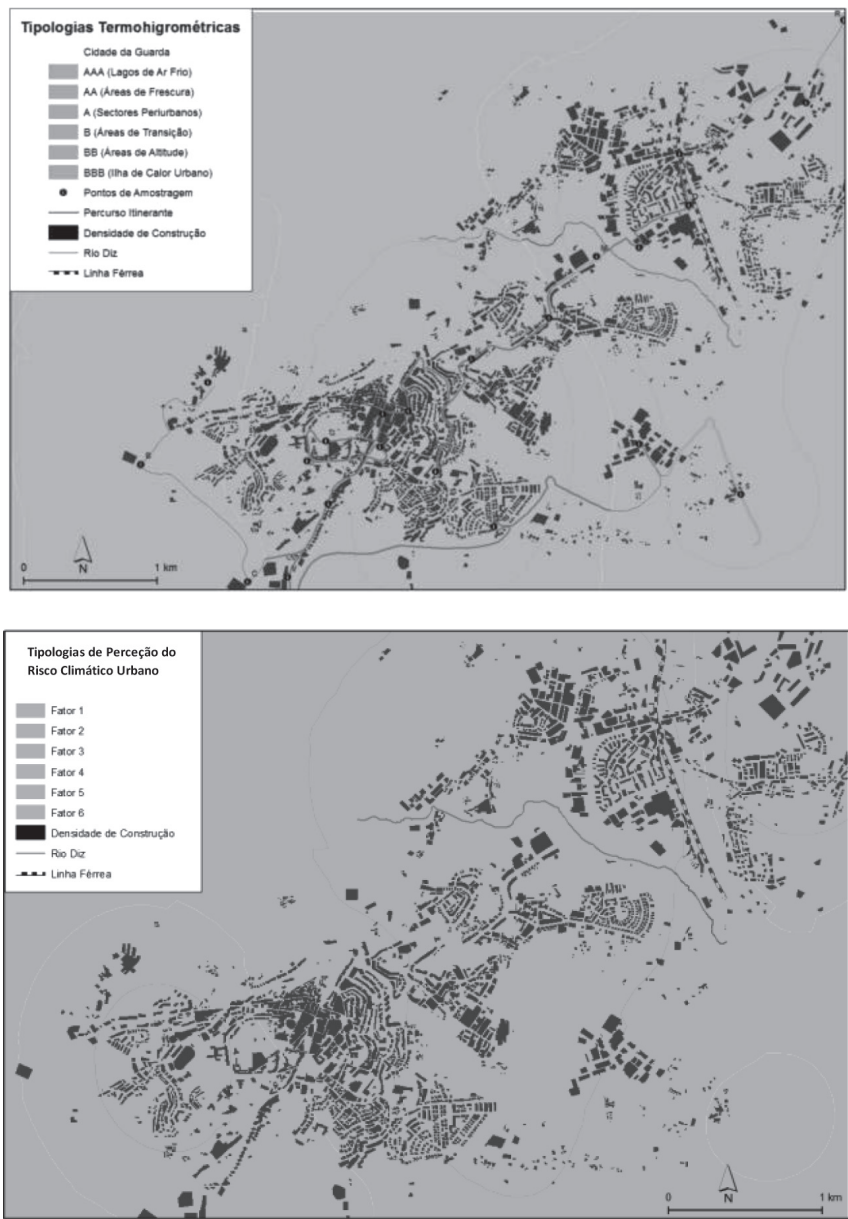


Figura 4
Relação entre as tipologias de conforto térmico, da esquerda para a direita: tipologias resultantes da análise dos dados itinerantes, tipologias da percepção da população.

necessidade de incluir esta dimensão nos estudos de planeamento e de melhoria da qualidade de vida urbana.

8. A topografia, morfologia urbana e a densidade de construção contribuem, em conjunto, para uma diminuição do conforto térmico, seja pela relação com a circulação do ar, a exposição solar ou a (in) existência de espaços verdes.
9. A percepção do risco climático está, sobretudo, relacionada com a sensação de frio e a sua relação com o desconforto térmico, situação a que não será alheia a tradução meteorológica verificada a Cidade da Guarda.

5. Considerações Finais

Este trabalho constitui parte de um projeto mais alargado de caracterização do conforto térmico, da qualidade de vida urbana e da percepção do risco climático da área urbana da Guarda, localizada no Interior Centro de Portugal. Com os dados explanados e analisados ao longo do artigo (dos quais apenas demos conhecimento os mais relevantes), e com as aplicações metodológicas podemos apresentar algumas notas de síntese:

1. A potencialidade dos Sistemas de Informação Geográfica no armazenamento, geoprocessamento (produção de análise de estatística espacial) e representação de resultados. Neste sentido, a integração da geoestatística e dos SIG revela-se extremamente pertinente, devendo ser adotada sempre que possível como uma estratégia em análises de dados espaciais, possibilitando métodos inferenciais com controlo mais significativo sobre os parâmetros de interpolação. Por outro lado, a possibilidade de representação das inferências estatísticas resultantes da análise multivariada, revela-se uma possibilidade de padronização espacial eficaz e profícua do ponto de vista dos resultados.
2. A existência de efeitos indutores que os metabolismos urbanos exercem sobre as variáveis climáticas da baixa atmosfera, mesmo em cidade de média ou pequena dimensão, como é o caso da Guarda, sobretudo devido ao tipo de construção.
3. A forte relação entre a construção urbana e as características topográficas que provocam, no caso da Guarda, uma intensificação das “ilhas de frescura” e dos “lagos de ar frio”, ou um atenuar e deslocação da “ilha de calor urbana” associada ao sector de maior densidade de construção e circulação, facto com forte influência na percepção que os seus residentes têm do seu próprio conforto térmico.
4. Uma relação direta entre a sensação de desconforto térmico, o frio e a percepção do risco, o que denota bem as características climáticas da cidade da Guarda.
5. Forte impacto das condições de habitabilidade e das alterações socioeconómica na percepção e na sensação térmica, sobrepondo-se muitas vezes aos comportamentos climáticos.
6. A percepção de conforto ou desconforto térmico resulta, em primeiro lugar, das condições da habitação, do seu aquecimento e isolamento, e em menor grau das características meteorológicas exteriores, o que traduz percepções de risco algo enviesadas face aos dados recolhidos.
7. A necessidade de integrar nos estudos bioclimáticos a percepção das populações, no sentido de os aproximar dos processos de ordenamento do território, como uma variável decisiva para a melhoria do conforto térmico e da própria qualidade de vida urbana.

6. Bibliografia

- ANDRADE, H. (2005) - "O Clima Urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade". *Finisterra*, XL, 80, Centro de Estudos Geográficos de Lisboa, Lisboa.
- ARNFIELD, A. J. (2003) - "Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island". *International Journal of Climatology*, London.
- CASTRO, E. e LOPES, A. (2011) - "O Conforto Térmico Urbano e o Ordenamento do Território na Cidade da Guarda: Utilização dos Sistemas de Informação Geográfica e da Geoestatística". *Revista de Engenharia Civil*, Nº40, Universidade do Minho.
- GAMA, R. (2004) - *Dinâmicas Industriais, Inovação e Território. Abordagem geográfica a partir do Centro Litoral de Portugal*. Fundação Calouste Gulbenkian, Coimbra.
- GANHO, N. (1992) - *O clima urbano de Coimbra - Aspectos térmicos estivais*. Dissertação de Mestrado em Geografia apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.
- GANHO, N. (1998) - *O Clima Urbano de Coimbra: estudo de climatologia local aplicada ao ordenamento urbano*. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Instituto de Estudos Geográficos, Coimbra.
- ISAACS, E. e SRIVASTAVA, R. (1989) - *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
- LAWRENCE, R. J. (2003) - "Human ecology and its applications". *Landscape and Urban Plannin*, nº 65, London.
- LEBART, L.; MORINEAU, A. e PIRON, M. (1997) - *Statistique Exploratoire Multidimensionnelle*. 2e edition, Paris, Dunod.
- LEVER, J. (2000) - "The development of an instrument to measure quality of life in Mexico City". *Social Indicators Research*, nº 50, New York.
- LOURENÇO, Luciano (2006) - "Riscos Naturais, Antrópicos e Mistos". *Territorium*, nº 14, Coimbra, pp. 109-113.
- MARQUES, D.; GANHO, N. e CORDEIRO, A. (2009) - "O contributo de estudos climáticos à escala local para o ordenamento urbano: o exemplo de Coimbra". *Actas do 15º Congresso da APDR*, Cabo Verde.
- MICHALSKI, J. H. (2001) - *Asking citizens what matters for quality of life in Canada*. Canadian Policy Research Networks, Ottawa.
- MONTEIRO, A. e FERNANDES, A. (1996) - "A Geoestatística - uma incursão exploratória a considerar no domínio da climatologia urbana?". *Cadernos de Geografia*, nº 15, Coimbra.
- RAHAMIMOFF, A. (1984) - "Residential cluster based on climate and energy considerations". *Energy and Buildings*, New York.
- REBELO, Fernando (2003) - *Riscos Naturais e Acção Antrópica: estudos e reflexões*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- SOARES, A. (2006) - *Geoestatística para as Ciência da Terra e do Ambiente*. 2ª Edição, IST Press, Lisboa.
- WYMAN, M. (2001) - *Quality of life indicators project - learning from citizens what matters for quality of life*. Canadian Policy Research Networks, Ottawa.

Temperatura e risco de morte - mortalidade diária no concelho de Coimbra durante o verão de 2003

Helena Nogueira

Departamento de Geografia, Universidade de Coimbra. Centro de Investigação em Antropologia e Saúde, Universidade de Coimbra.
helenamarquesnogueira@hotmail.com

Carla Mateus

Departamento de Geografia, Universidade de Coimbra.
cppmateus@gmail.com

Resumo:

Vários estudos, nacionais e internacionais, abordam o tema das relações entre o clima e a mortalidade, sobretudo a ocorrida em condições climáticas extremas. Neste contexto, a onda de calor que assolou a Europa no verão de 2003 tem sido profundamente estudada, tanto nas suas causas, como nas suas consequências para a saúde pública. Este trabalho apresenta uma primeira análise ao impacto do calor nos níveis de mortalidade da população residente no concelho de Coimbra, centrando-se a análise nos valores de temperatura (média, máxima e mínima) diários registados durante o verão de 2003 e no número de óbitos por causas específicas ocorridos diariamente durante o mesmo período. O objetivo é verificar a existência, para cada sexo, de associações estatísticas entre valores de temperatura e a mortalidade por causas específicas. Os resultados mostram que a relação entre temperatura e mortalidade varia em função da causa de morte e do sexo. A identificação das causas de morte mais sensíveis à temperatura assume-se como um passo inicial de um estudo mais alargado, no qual se procurará avaliar a relação entre clima e mortalidade, recorrendo a fatores de vulnerabilidade (sensibilidade e exposição) relacionados com condições socioeconómicas, demográficas e urbanísticas diversas.

Palavras-chave: Temperatura. Mortalidade por causas específicas. Coimbra. Verão de 2003.

Abstract

Temperature and risk of death - cause-specific mortality in Coimbra municipality during the summer 2003

Several national and international studies address the relationships between climate and mortality, particularly the one which occurs in extreme weather conditions. In this scope, the heat wave that occurred in Europe in the summer 2003 has been deeply studied, both in its causes and in its consequences for public health. This paper presents a first analysis about the impact of heat on mortality levels of the population living in Coimbra municipality, focusing on daily temperature values (average, minimum and maximum) registered during the summer 2003 and the daily number of deaths by specific causes occurred in the same period. The aim is to verify the existence, for each sex, of statistical associations between temperature values and cause-specific mortality. The results show a varying relationship between temperature and mortality, in accordance with cause of death and sex. Identifying the causes of death that are more sensitive to temperature is assumed as an initial step of a wider study, in which we seek to evaluate the relationship between climate and mortality, using factors of vulnerability (sensitivity and exposure) related to diverse socioeconomic, demographic and urban conditions.

Keywords: Temperature. Cause-specific mortality. Coimbra. Summer 2003.

Introdução

O impacto da temperatura sobre a morbilidade e mortalidade das populações pode ser visto tanto do ponto de vista diário, como sazonal (KALKSTEIN e VALIMONT, 1987). Sazonalmente, identificam-se picos de mortalidade invernal provocada por pneumonia e gripe, doenças cardíacas e cerebrovasculares e diabetes (REICHERT *et al.*, 2004); acidentes vasculares cerebrais e doença isquémica cardíaca apresentam um padrão de mortalidade que pode ser relacionado com variações diárias e mensais da temperatura (KALKSTEIN e VALIMONT, 1987). Nos últimos anos tem crescido o interesse pela investigação das relações entre o clima e a mortalidade das populações, focando-se esta, sobretudo, nos paroxismos climáticos do período estival e invernal (ondas calor e de frio).

Relativamente às ondas de calor, vários autores têm analisado as suas consequências sobre a morbilidade e mortalidade das populações (DESSAI, 2002; 2003; DÍAZ *et al.*, 2006; HUTTER *et al.*, 2007; KOVATS e HAJAT, 2008; TAN *et al.*, 2007; KNOWLTON *et al.*, 2009). Neste contexto, o verão de 2003, e sobretudo a onda de calor de Agosto, surge como um dos períodos mais profundamente estudados, por ter sido um dos mais quentes na Europa desde o início do século XVI (LUTERBACHER *et al.* 2004) e estar associado à morte de mais de 70 000 pessoas nesta área (ROBINE *et al.* 2008); só em Portugal, estima-se em cerca de 2000 o número de óbitos associados a esta ocorrência (FALCÃO *et al.*, 2005).

Estudos efetuados nesta temática apontam para a existência de um intervalo de temperaturas ótimas, ao qual estão associados valores mínimos de mortalidade, verificando-se aumento de mortalidade para valores de temperatura acima e abaixo dos limites deste intervalo. Porém, a amplitude e os limiares do intervalo variam consideravelmente, refletindo o efeito de aclimação humana (CURRIERO *et al.*, 2002; MEDINA-RÁMON *et al.*, 2006). Refira-se, como exemplo, que DIAZ *et al.* (2006) identificaram limiares térmicos para aumento de mortalidade de 26.2°C, na Galiza e de 41.2°C, na Andaluzia, apontando para uma diferença de 15°C no valor de temperatura associado ao aumento da mortalidade.

A relação entre temperatura e mortalidade pode ser enquadrada num modelo conceptual de risco de morte devido a extremos térmicos (ZÉZERE *et al.*, 2008; CANÁRIO, 2010), no qual o *risco* é equacionado como produto da *perigosidade*, entendida como a ocorrência do extremo térmico e da *vulnerabilidade*, sendo esta uma função da *sensibilidade* à ocorrência do evento e da *exposição* a esse evento. Para a determinação do risco acresce ainda a ponderação pelo *valor*, que pode ser medido, por exemplo, em anos de vida potencial perdidos.

Deste modo, o impacto do calor e do frio sobre a saúde individual é muito variável, dependendo tanto de fatores biológicos, como a idade e o sexo, como de fatores socioeconómicos, culturais e de estado de saúde da população, e ainda da interação entre estes dois conjuntos de determinantes. Fatores como a idade, o sexo, o tamanho e a composição corporal (percentagem de massa gorda corporal), alguns deles também intimamente relacionados, têm sido implicados no impacto da temperatura na mortalidade (HAVENITH, 2005). Todavia, a determinante de maior influência na relação mortalidade/temperatura parece ser o nível socioeconómico (KALKSTEIN e VALIMONT, 1987), aumentando a sensibilidade com a diminuição do estatuto social, determinante maior do tipo de ocupação (predominantemente manual nos grupos da base da hierarquia, envolvendo maior esforço físico), das condições de trabalho e do acesso à informação e aos serviços de saúde (KOVATS e HAJAT, 2008). A exposição, fator que contribui também para

a vulnerabilidade, decorre de aspetos relativos quer à mobilidade individual, quer a fatores associados à urbanização, quer ainda a características dos locais de residência e de trabalho, como a qualidade da habitação, o tipo de alojamento, a estrutura verde, entre outros (ANDRADE *et al.*, 2013). Refira-se ainda que sensibilidade e exposição interagem: o estatuto socioeconómico condiciona não apenas o tipo de ocupação e o acesso à informação e aos cuidados de saúde, mas também a qualidade da habitação, as características do local de residência e a mobilidade; a idade e o sexo, por exemplo, relacionam-se também com a mobilidade.

Assim, é necessário integrar diferentes tipos de fatores na análise da relação entre temperatura e mortalidade. Por exemplo, o maior impacto das temperaturas elevadas na população idosa deve ser entendido como decorrente de alterações nas suas funções metabólicas (ritmo cardíaco, capacidade de transpiração), mas também do seu isolamento social, do baixo rendimento, que condiciona as condições da habitação e a capacidade de pagar cuidados de saúde, do consumo de alguns medicamentos e da fragilização do seu estado de saúde geral, apresentando estes muitas vezes patologias prévias específicas potenciadoras da sensibilidade, em particular as do foro respiratório e cardiovascular (HAINES *et al.* 2006; KOVATS e HAJAT, 2008). A estes fatores acresce a sua potencial menor mobilidade, que poderá agravar a exposição ao extremo térmico. Tratando-se de indivíduos do sexo feminino, a vulnerabilidade agrava-se, dado que as mulheres são mais sensíveis ao calor, devido a fatores hormonais (HAVENITH, 2005), sendo também provável que se encontrem socialmente isoladas, em resultado da sua maior longevidade.

Este trabalho pretende avaliar a relação entre temperatura e mortalidade, em particular o efeito do calor na mortalidade da população residente no concelho de Coimbra durante o verão de 2003. Para atingir este objetivo, foram selecionadas as causas de morte apontadas na literatura epidemiológica como estando mais relacionadas com temperaturas elevadas (BASU e SAMET, 2002; CALADO *et al.*, 2004) e feita a análise separadamente para cada sexo, dada a maior vulnerabilidade comumente atribuída ao sexo feminino (CALADO *et al.*, 2003; HAVENITH, 2005).

A opção pelo concelho de Coimbra prende-se, por um lado, com a disponibilidade dos dados e, por outro, por se tratar de uma área de forte urbanização, uma vez que as populações residentes em áreas urbanas podem enfrentar uma situação de risco de morte aumentado em situações de calor. Este risco acrescido decorre dos mais elevados índices térmicos das áreas urbanas (combinações de temperatura, humidade e vento), em resultado do efeito da ilha de calor urbano e da sua maior eficiência na retenção de calor durante o período noturno (CONTI *et al.*, 2005).

Material e métodos

A análise centrou-se nos dados de mortalidade diária por causas específicas, ocorridos entre 01 de maio a 30 de outubro de 2003, nas 31 freguesias do concelho de Coimbra, tendo sido efetuada para o conjunto da população e separadamente para cada sexo. Numa fase inicial, estes óbitos foram comparados com os ocorridos no período homólogo do ano anterior (2002). Os dados de mortalidade foram cedidos pela DGS, tendo sido selecionadas as causas de morte reconhecidas como mais sensíveis ao calor (NOGUEIRA e PAIXÃO, 2003; CALADO *et al.*, 2003); analisaram-se assim, para além dos óbitos para todas as causas de morte, os óbitos

ocorridos por doenças do aparelho respiratório (códigos J00 a J99 da CID 10), doenças do aparelho circulatório (I00 a I99), cardiopatia isquémica (I20 a I25), doenças cerebrovasculares (I60 a I69), acidentes vasculares cerebrais (AVC) (I64) e diabetes (E10 a E14). Outras causas de morte usualmente associadas ao calor, nomeadamente as ocorridas por “golpe de calor” (X309) e por “desidratação e outros distúrbios metabólicos” (E860 a E879) não registaram nenhuma ocorrência no período em análise.

Os dados de temperatura foram cedidos pelo Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC) e correspondem ao período compreendido entre 01 de maio a 30 de outubro de 2003. Utilizaram-se temperaturas máximas, médias e mínimas diárias, uma vez que a utilização destas três temperaturas na avaliação das associações entre temperatura e mortalidade parece ser vantajosa (BASU e SAMET, 2002).

A relação entre a temperatura e a mortalidade foi estudada por intermédio de modelos de regressão polinomial de segunda ordem; estes modelos podem ser entendidos como casos particulares dos modelos de regressão linear, desenvolvidos a partir destes pela adição de uma função quadrática (neste caso o quadrado das temperaturas). A opção pela regressão polinomial de segunda ordem justifica-se pelo melhor ajustamento assim conseguido, dado que a associação entre temperatura e mortalidade é frequentemente descrita como tendo uma forma de J ou de U, mantendo-se a mortalidade relativamente baixa para temperaturas moderadas e aumentando para temperaturas extremas. Assim, para modelar a mortalidade ao longo da escala de temperaturas é necessário recorrer a modelos estatísticos que não assumam condições de linearidade, o que é conseguido com um termo polinomial (BASU e SAMET, 2002). Desenvolveram-se modelos de regressão polinomial considerando as três temperaturas diárias recolhidas (máxima, média e mínima) e a média do número de óbitos (total de óbitos ocorridos para determinada temperatura, ponderado pelo número de dias em que se registou essa temperatura), por sexo, para cada uma das causas de morte selecionadas, num total de 63 modelos.

Resultados e discussão

A comparação efetuada aos óbitos ocorridos no verão de 2002 e 2003 aponta para um aumento do número de óbitos em 2003, em quase todas as causas de morte consideradas (Tabela I).

Assim, o número de óbitos total aumenta cerca de 16% no verão de 2003, comparativamente ao verão do ano anterior. Os aumentos mais expressivos são registados para o sexo masculino e nos óbitos ocorridos por doenças do aparelho respiratório, cardiopatia isquémica e diabetes (apenas no sexo masculino). Porém, verificam-se também algumas variações negativas, mais importantes na mortalidade por AVC e diabetes (neste caso apenas nas mulheres).

Dos 63 modelos de regressão desenvolvidos entre a variável “temperatura”, medida em diferentes momentos e “mortalidade”, total e por causas específicas, ocorrida no concelho de Coimbra no verão de 2003, 27 revelaram significância estatística ($p \leq 0.05$) (Tabela II).

A informação apresentada na tabela sublinha, em primeiro lugar, que a análise entre temperatura e mortalidade deve ser feita separadamente para cada sexo e por causas de morte específicas, uma vez que considerando a relação entre os óbitos em ambos os sexos e as

Temperatura e risco de morte - mortalidade diária no concelho de Coimbra durante o verão de 2003

Tabela I

Número de óbitos por causas específicas e variação, em 2002-2003

Mortalidade (CID 10)	Número de óbitos						Variação (%)		
	2002			2003					
	Total	H	M	Total	H	M	Total	H	M
Total	595	291	304	690	344	346	16,0	18,2	13,8
Ap. circulatório (I00-I99)	227	90	137	232	95	137	2,2	5,6	0,0
Ap. respiratório (J00-J99)	39	20	19	62	25	37	59,0	25,0	94,7
Card. Isquêmica (I20-I25)	34	17	17	42	21	21	23,5	23,5	23,5
Cerebrovasculares (I60-I69)	125	46	79	119	48	71	-4,8	4,3	-10,1
AVC (I64)	89	30	59	76	30	46	-14,6	0,0	-22,0
Diabetes (E10-E14)	27	7	20	23	10	13	-14,8	42,9	-35,0

Tabela II

Associações significativas ($p \leq 0.05$) entre temperaturas mínimas, médias e máximas e mortalidade diária no concelho de Coimbra, maio a outubro de 2003

Causas de morte	Mortalidade por sexo		
	Total	Sexo masculino	Sexo feminino
Todas as causas	Temperatura máxima Temperatura média	Temperatura máxima Temperatura média	
Doenças ap. circulatório		Temperatura mínima	
Doenças ap. respiratório	Temperatura máxima Temperatura média Temperatura mínima	Temperatura média Temperatura mínima	Temperatura máxima Temperatura média Temperatura mínima
Cardiopatia Isquémica		Temperatura máxima Temperatura média	
Doenças Cerebrovasculares		Temperatura máxima Temperatura média Temperatura mínima	Temperatura máxima
AVC	Temperatura máxima Temperatura média	Temperatura máxima Temperatura média Temperatura mínima	Temperatura média
Diabetes		Temperatura média	Temperatura máxima

temperaturas, os modelos revelam-se não significativos para várias causas de morte (aparelho circulatório, doença isquémica, doenças cerebrovasculares e diabetes); para o sexo masculino, todas as causas de morte consideradas revelaram associações significativas com diferentes valores de temperatura. No sexo feminino, as associações mostraram-se não significativas para a mortalidade por todas as causas e por doenças do aparelho circulatório. Por outro lado, a relação da temperatura com a mortalidade parece ser mais transversal no sexo masculino, dado que vários modelos, desenvolvidos com distintas temperaturas, alcançaram significância estatística. Para o sexo feminino relevam as temperaturas médias e máximas, uma vez que as quatro causas de morte que originaram modelos significativos destacam a influência destas temperaturas. Esta diferenciação de género ao impacte da temperatura poderá decorrer de processos fisiológicos e reativos diferentes entre os sexos, resultando numa maior sensibilidade das mulheres a picos de calor extremo.

Os melhores modelos conseguidos, revelando as associações mais fortes, são apresentados nas Figuras 1 a 12.

A Figura 1 apresenta a associação entre a temperatura média diária e o total de óbitos, para ambos os sexos, verificando-se tendência para aumento da mortalidade com o aumento destas temperaturas. Esta associação é também significativa para as temperaturas máximas, mantendo-se para estas temperaturas o padrão evidenciado na Figura 1.

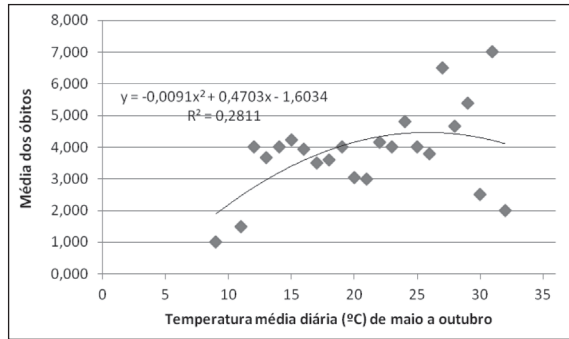


Figura 1
Temperatura média diária e total de óbitos, ambos os sexos.

Para as doenças do aparelho circulatório, os melhores ajustamentos foram sempre conseguidos com as temperaturas mínimas (apesar do único modelo com significância estatística ser o do sexo masculino). Estes modelos apresentam tendencialmente curvas em forma de J ou U, embora se caracterizem por apresentarem sempre menor elevação do braço esquerdo, refletindo maior mortalidade nas temperaturas mais elevadas. Para o sexo masculino, o aumento da mortalidade ocorre sobretudo para temperaturas mínimas superiores a 14°C (Figura 2).

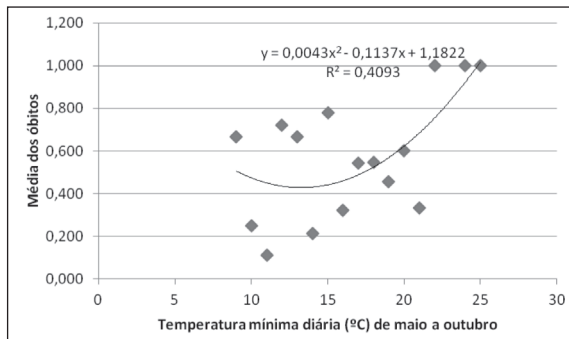


Figura 2
Temperatura mínima diária e óbitos por doenças circulatórias, sexo masculino.

Em relação à mortalidade por doenças do aparelho respiratório, vários modelos revelaram significância estatística, embora os melhores ajustamentos fossem conseguidos com as temperaturas médias (total de óbitos e sexo feminino) (Figuras 3 e 4) e mínimas (óbitos do sexo masculino) (Figura 5), evidenciando-se, em todos os casos, a curva em U, revelando uma zona

de conforto para temperaturas intermédias (16°C a 23°C para temperaturas médias), associada a menor mortalidade, aumentando a mortalidade para temperaturas extremas.

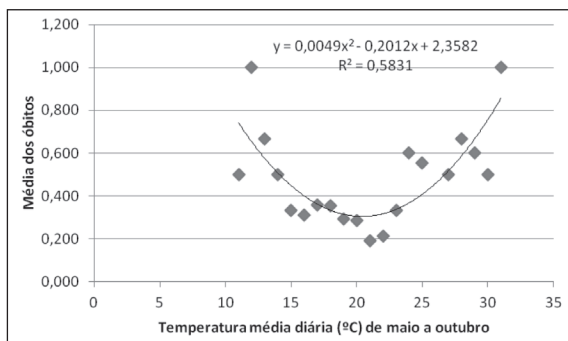


Figura 3

Temperatura média diária e óbitos por doenças respiratórias, ambos os sexos.

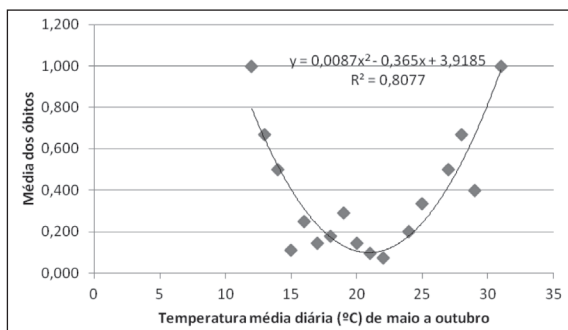


Figura 4

Temperatura média diária e óbitos por doenças respiratórias, sexo feminino.

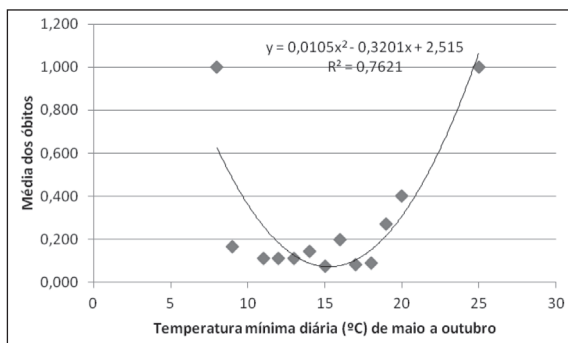


Figura 5

Temperatura mínima diária e óbitos por doenças respiratórias, sexo masculino.

Dos modelos desenvolvidos para a cardiopatia isquémica, apenas revelaram significância estatística os elaborados para o sexo masculino com temperaturas máximas e médias, apresentando-se o modelo com melhor ajustamento na Figura 6. Evidencia-se também uma curva em U, traduzindo aumento da mortalidade nas temperaturas extremas, que se mantêm para todos os modelos elaborados para esta causa de morte.

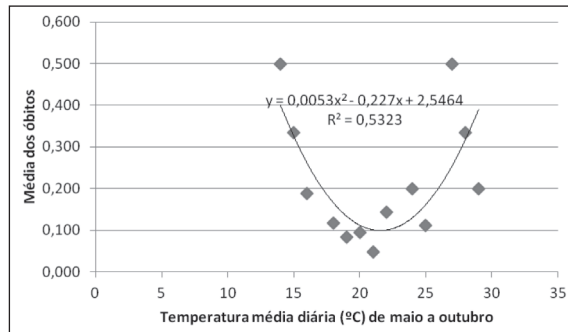


Figura 6
Temperatura média diária e óbitos por doença isquémica, sexo masculino.

Para a mortalidade por doenças cerebrovasculares, apresentam-se os modelos desenvolvidos para o sexo masculino, com temperaturas médias (Figura 7) e mínimas (Figura 8). Os modelos apresentam tendencialmente curvas em forma de J, tendendo para U, com aumento da mortalidade para temperaturas mais elevadas, ainda que se verifique alguma elevação da mortalidade nas temperaturas mais baixas (temperatura média inferior a 18°C e mínima inferior a 14°C).

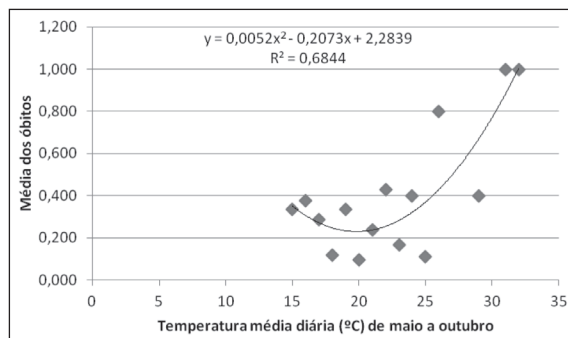


Figura 7
Temperatura média diária e óbitos por doenças cerebrovasculares, sexo masculino.

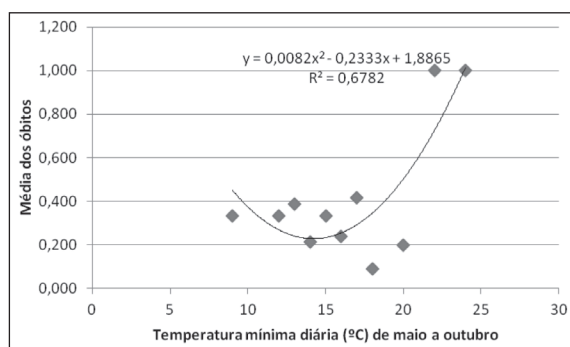


Figura 8

Temperatura mínima diária e óbitos por doenças cerebrovasculares, sexo masculino.

Vários modelos elaborados para a associação entre mortalidade por AVC e temperaturas revelaram significância estatística, embora os melhores ajustamentos fossem conseguidos sempre com temperaturas médias. No entanto, a relação temperatura média/mortalidade por AVC parece diferir com o sexo, verificando-se para o sexo masculino tendência para um modelo em forma de J (Figura 9), enquanto para o sexo feminino a curva eleva-se consideravelmente em ambos os extremos, mas sobretudo nas temperaturas mais baixas, adquirindo forma de U (Figura 10). Parece, pois, que a mortalidade por AVC no sexo masculino aumenta sobretudo com elevação da temperatura (temperatura média superior a 20°C), enquanto no sexo feminino aumenta para temperaturas extremas, altas ou baixas (mínimos de mortalidade entre os 18°C e os 22°C de temperatura média).

Considerando a diabetes, os melhores modelos foram conseguidos com temperaturas médias, para homens (Figura 11) e população total e temperaturas máximas, para mulheres (Figura 12). No entanto, o padrão evidenciado nestas figuras mantém-se considerando os seis modelos desenvolvidos para esta causa de morte, verificando-se tendencialmente curvas em forma de U, indicando maior mortalidade para temperaturas extremas, altas e baixas. Todavia, estas curvas em U apresentam-se “híbridas”, tendendo para um padrão em forma de

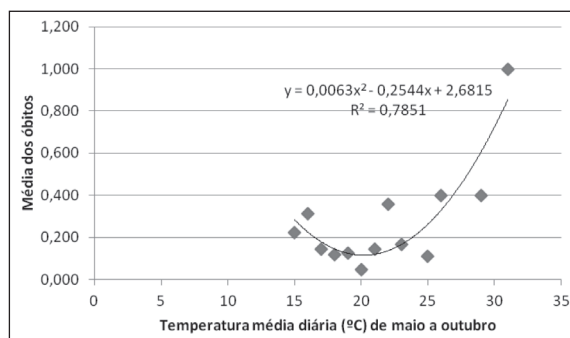


Figura 9

Temperatura média diária e óbitos por AVC, sexo masculino.

J, verificando-se a este nível diferenças entre os sexos; enquanto no sexo masculino o maior aumento da mortalidade ocorre para as temperaturas mais baixas (temperatura média inferior a 18°C) (Figura 11), no sexo feminino verifica-se o oposto, desenhando-se uma curva quase em J invertido, com aumento da mortalidade ocorrendo nas temperaturas mais altas (temperatura máxima superior a 26°C) (Figura 12).

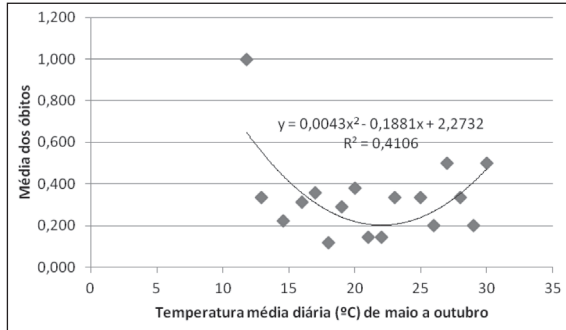


Figura 10
Temperatura média diária e óbitos por AVC, sexo feminino.

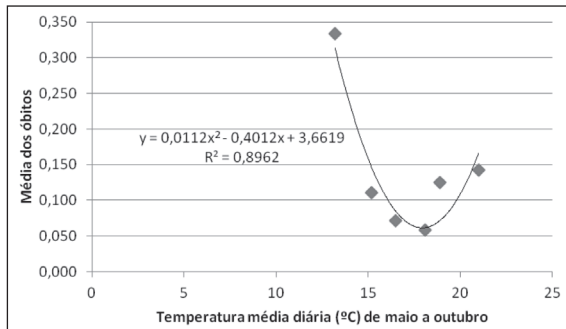


Figura 11
Temperatura média diária e óbitos por diabetes, sexo masculino.

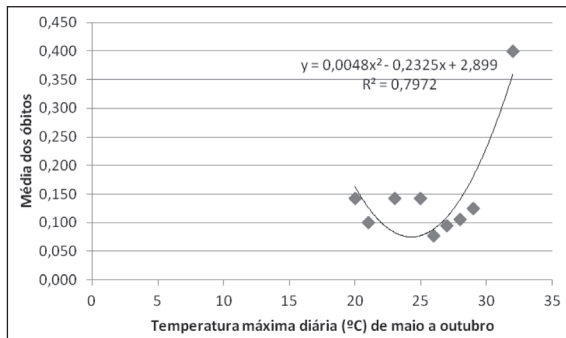


Figura 12
Temperatura máxima diária e óbitos por diabetes, sexo feminino.

Conclusão

A análise efetuada revela um aumento da mortalidade no verão de 2003, por comparação com os valores de 2002, mais expressivo no sexo masculino, não se confirmando o maior impacto do calor na mortalidade do sexo feminino. Este resultado deverá ser confirmado numa análise que considere não apenas o número de óbitos ocorridos em período homólogo, mas também o número de óbitos esperados no período em análise e sua comparação com os observados.

A análise por sexo e causas de morte mostrou-se vantajosa, na medida em que se obtiveram assim melhores resultados do que considerando um menor nível de especificação nos dados. Os resultados sugerem que a pré-existência de patologias cardiovasculares e respiratórias, bem como de diabetes, aumenta o risco de morte associado a temperaturas elevadas. Para o sexo masculino, todas as causas de morte revelaram associações estatísticas com as temperaturas; para o sexo feminino, as associações entre temperatura e mortalidade não se revelaram significativas para o total das doenças do aparelho circulatório, nem para a cardiopatia isquémica, embora se tenham revelado significativas para a mortalidade por doenças cerebrovasculares e também por AVC. A diabetes surge, em ambos os sexos, como uma patologia de forte associação ao calor, sabendo-se ainda que a presença desta doença contribui para o aumento da mortalidade por doenças do aparelho circulatório.

Os vários modelos elaborados apresentam um padrão comum, indicando maior mortalidade com o aumento da temperatura, expresso por curvas em forma de J, ou maior mortalidade para temperaturas extremas, altas e baixas, definindo-se, neste caso, um intervalo térmico associado a menor mortalidade, patente nas curvas em forma de U. Os modelos desenvolvidos evidenciam variações nos limiares associados ao aumento da mortalidade quando se consideram os sexos, as causas de morte e as diferentes temperaturas estudadas.

O verão de 2003 foi amplamente estudado nas suas consequências sobre a mortalidade da população, revelando-se aqui alguns resultados para a população do concelho de Coimbra. O desconforto físico associado a temperaturas elevadas pode ser prejudicial à saúde humana, conduzindo ao aumento da mortalidade, sobretudo em populações e indivíduos mais vulneráveis, como são as populações urbanas, os idosos e as pessoas de mais baixo estatuto socioeconómico. Estudos futuros deverão procurar analisar o impacto dos episódios de calor extremo, nomeadamente a onda de calor de agosto, avaliando também a vulnerabilidade (sensibilidade e exposição) da população.

Bibliografia

- ANDRADE, H.; NOGUEIRA, H. e CANÁRIO, P. (2013) - "Utilização da análise multi-níveis para avaliação da vulnerabilidade da população da AML ao calor". *Cadernos de Geografia*, n.º 31-31, pp. 261-267.
- BASU, R. e SAMET, J. (2002) - "Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence". *Epidemiologic Reviews*, 24, pp. 190-202.
- CALADO, R.; NOGUEIRA, P.; CATARINO, J.; PAIXÃO, E.; BOTELHO, J.; CARREIRA, M. e FALCÃO, J. (2004) - "A onda de calor de Agosto de 2003 e os seus efeitos sobre a mortalidade da população portuguesa". *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, 22, pp. 7-20.
- CANÁRIO, P. (2010) - "Methodology to assess thermal extremes mortality risk in urban areas". *Finisterra*, XLV, 89, 2010, pp. 171-177.

- CONTI, S.; MELI, P.; MINELLI, G.; SOLIMINI, R.; TOCCACELI, V.; VICHI, M.; BELTRANO, C. e PERINI, L. (2005) - "Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy". *Environ Res*, 98, pp. 390-399.
- CURRIERO, F.; HEINER, K.; SAMET, J.; ZEGER, S.; STRUG, L. e PATZ, J. (2002) - "Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States". *Am J Epidemiol*, 155, pp. 80-87
- DESSAI, S. (2002) - "Heat stress and mortality in Lisbon Part I - Model construction and validation". *Int J Biometeorol*, 47, pp. 6-12.
- DESSAI, S. (2003) - "Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An assessment of the potential impacts of climate change". *Int J Biometeorol*, 48, pp. 37-44.
- DIAZ, J.; GARCÍA-HERRERA, R.; TRIGO, R.; LINARES, C.; VALENTE, M.; MIGUEL, J. e HERNÁNDEZ, E. (2006) - "The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it?" *Int J Biometeorol*, 50, pp. 159-166.
- FALCÃO, P.; CONTREIRAS, J.; PAIXÃO, M.; BRANDÃO, E. e BATISTA, I. (2005) - "Mortality in Portugal associated with the heat wave of august 2003: early estimation of effect, using a rapid method". *Eurosurveillance*, 10, pp. 150-153.
- HAINES, H.; KOVATS, R. e CORVALAN, C. (2006) - "Climate change and human health - impacts, vulnerability, and mitigation". *Lancet*, 367, pp. 2101-2109.
- HAVENITH, G. (2005) - "Temperature Regulation, Heat Balance and Climatic Stress". In: KIRCH, B. Menne e BERTOLLINI, R. (Eds.) - *Extreme Weather Events and Public Health*. Berlin Springer, pp. 59-67.
- HUTTER, H.; MOSHAMMER, H.; WALLNER, P.; LEITNER, B. e KUNDI, M. (2007) - "Heatwaves in Vienna: effects on mortality". *Wien Klin. Wochenschr*, 119, pp. 223-227.
- KALKSTEIN, L. e VALIMONT, K. - "Climate Effects on human health". In: Potential effects of future climate changes on forests and vegetation, agriculture, water resources, and human health. *EPA Science and Advisory Committee Monograph no. 25389*. 122-52. Washington. D.C.: US Environmental Protection Agency, 1987.
- KNOWLTON, K.; ROTKIN-ELLMAN, M.; KING, G.; MARGOLIS, H. G.; SMITH, D.; SOLOMON, G.; TRENT, R. e ENGLISH, P. (2009) - "The 2006 California Heat Wave: Impacts on Hospitalizations and Emergency Department Visits". *Environ Health Persp*, 117(1), pp. 61-67.
- KOVATS, R. S. e HAJAT S. (2008) - "Heat Stress and Public Health: A Critical Review". *Annual Review of Public Health*, 29, pp. 41-55.
- LUTERBACHER, J.; DIETRICH, D.; XOPLAKI, E.; GROSJEAN, M. e WANNER, H. (2004) - "European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500". *Science*, 303, pp. 1499-1503.
- MEDINA-RÁMON, M.; ZANOBBETTI, A.; CAVANAGH, D. P. e SCHWARTZ, J. (2006) - "Extreme Temperatures and Mortality: Assessing Effect Modification by Personal Characteristics and Specific Cause of Death in a Multi-City Case-Only Analysis". *Environmental Health Perspectives*, 114-9, pp. 1331-1336.
- REICHERT, T.; SIMONSEN, L.; SHARMA, A.; PARDO, S.; FEDSON, D. e MILLER, M. (2004) - "Influenza and the Winter Increase in Mortality in the United States, 1959-1999". *American Journal of Epidemiology*. Vol. 160, nº 5, pp. 492-502.
- ROBINE, J.; CHEUNG, S.; SOPHIE, L.; HERMAN, V.; CLARE, G.; MICHEL, J. e HERRMANN, F. (2008) - "Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. C. R. *Biologies*, 331, pp. 171-178.
- TAN, J.; ZHENG, Y.; SONG, G.; KALKSTEIN, L. S.; KALKSTEIN, A. e TANG, X. (2007) - "Heat wave impacts on mortality in Shanghai, 1998 and 2003". *Int J Biometeorol*, 51, pp. 193-200.
- ZÉZERE, J.; GARCIA, R.; OLIVEIRA, S. e REIS, E. (2008) - "Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal)". *Geomorphology*, 94, pp. 467-495.

Avaliação da influência do frio no episódio de mortalidade verificado em Portugal no início de 2012

Jorge Marques

Instituto Português do Mar e da Atmosfera.
jorge.marques@ipma.pt

Sílvia Antunes

Instituto Português do Mar e da Atmosfera.
silvia.antunes@ipma.pt

Resumo:

Analisa-se a mortalidade registada em Portugal Continental durante os primeiros meses de 2012 e tenta avaliar-se a influência que a variabilidade da temperatura do ar teve no elevado número de óbitos que se registou. Para o efeito estudou-se, com mais detalhe, a temperatura mínima, por se tratar da variável com mais influência na mortalidade de Inverno e por ter estado nestes meses sempre abaixo dos valores médios. Estimaram-se as tendências não lineares pelo método de Análise Espectral Singular (SSA), procurando identificar intervalos temporais onde as diminuições da temperatura mínima pudessem explicar o acréscimo de mortalidade. São apresentados, para cada um destes períodos, o excesso de óbitos em relação aos valores médios nos mesmos períodos e a mortalidade registada que dificilmente poderá ser explicada pela variabilidade da temperatura mínima.

Palavras-chave: Temperatura do ar. Frio. Mortalidade. SSA. Portugal Continental.

Abstract:

Evaluation of the cold influence in the death episode at the beginning of 2012 in Portugal

The recorded mortality in Mainland Portugal during the first months of 2012 is analysed, just as the influence that air temperature variability had in the high occurred number of deaths. Being the variable that most influence the winter mortality and that occurred below average values in these months, the minimum temperature was detailed analysed. Non-linear trends were estimated by Spectral Singular Analysis methods (SSA), trying the identification of time intervals in which the minimum temperature decrease could able to explain the mortality increase. For each of these periods the excess of deaths related to the average values are presented. Other period in which the recorded mortality hardly could be explained by the variability of the minimum temperature is also presented.

Keywords: Air temperature. Cold. Mortality. SSA. Mainland Portugal.

Introdução

Relações entre o clima e a saúde humana são conhecidas há séculos tendo sido abordadas, no mundo ocidental, por exemplo, por Hipócrates¹, na Grécia no século IV a.C.. Em Portugal, durante o século XIX, surgiram os primeiros estudos que relacionavam alguns efeitos do clima na saúde pública (ALCOFORADO *et al.*, 1999).

A temperatura do ar é uma das variáveis meteorológicas que mais influencia os processos biológicos e dos mais utilizados para descrever o clima (SACARRÃO, 1981; PEIXOTO, 1987). Exemplos de estudos que relacionam a temperatura do ar com a saúde da população portuguesa são: PINHEIRO, 1990; FALCÃO *et al.*, 1998; GARCIA *et al.*, 1999; ANDRADE, 2003; DESSAI, 2003; MARQUES, 2007; MARQUES *et al.*, 2009.

A implementação de planos para melhorar a eficácia das políticas de prevenção, controlo e redução de riscos para a saúde pública com origem em factores ambientais, nomeadamente com a temperatura do ar, tem sido uma preocupação do PNAAS (2008). Desde 1999 que está implementado em Portugal Continental, durante o período estival, um sistema de vigilância das ondas de calor com potencialidade de impacte na saúde humana (Índice ICARO²). No entanto, os efeitos causados pelas temperaturas baixas de inverno não tiveram até agora a mesma relevância, apesar da mortalidade em Portugal, tal como na grande maioria dos países das médias latitudes do hemisfério norte, ser mais elevada nesta estação do ano. Alguns estudos (PINHEIRO, 1990; FALCÃO *et al.*, 2004; MARQUES, 2007) mostram a existência de relações significativas entre o frio e a mortalidade. Estudos mais recentes (por ex. MARQUES *et al.* 2009) revelam correlações significativas, no Inverno, entre a temperatura mínima e a mortalidade em Portugal até 7 dias de desfasamento.

Metodologia e Dados Utilizados

Analisa-se as séries de mortalidade e da temperatura diária do ar (máxima e mínima) durante os primeiros meses de 2012 (janeiro a abril) em Portugal Continental.

Para o efeito utilizam-se os dados (ainda provisórios) da mortalidade diária em Portugal Continental disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE, I.P.) para este período de 2012, e também as séries diárias entre 2001 e 2011, nos mesmos meses, tendo como objetivo o cálculo de valores médios para um período independente deste em análise.

Os dados da temperatura diária do ar são provenientes da rede de estações meteorológicas do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA, I.P.). Além das observações diárias registadas de janeiro a abril de 2012 são utilizados, como médias, os valores normais 1971-2000, tanto em relação às mínimas como às máximas. No cálculo destas médias referentes a todo o continente utilizaram-se 18 estações meteorológicas localizadas em capitais de distrito.

A aplicação do método de Análise Espectral Singular (SSA), baseado na construção de filtros que se vão adaptando à própria evolução das séries (VAUTARD *et al.*, 1992), permite decompor a

¹ No tratado “*Dos ares, águas e lugares*”, um dos objectivos era precisamente incentivar os médicos viajantes que pretendiam curar em terras estranhas a observarem os ventos, as águas, o clima e os hábitos desses lugares.

² ICARO - Importância do Calor: Repercussão sobre os Óbitos, o Índice ICARO é activado anualmente entre os meses de Maio e Setembro.

série original em várias componentes de características mais simples e com óbvias vantagens na eliminação do ruído da série original. O método permite, pela soma de várias componentes, reconstruir parte da série original e avaliar a percentagem da variância total explicada pelas mesmas. Possibilita ainda a aplicação de testes de significância para várias hipóteses nulas, podendo também ser usado na previsão da própria série (ANTUNES *et al.*, 2001).

Neste estudo, o método SSA constitui uma mais-valia na extração das componentes de tendência não lineares, mais realistas do que as usuais tendências lineares, por possibilitarem a existência de vários períodos da série em fases positiva e negativa.

Análise da temperatura

Nos primeiros meses de 2012 verificaram-se, em Portugal Continental, temperaturas do ar abaixo da média, em especial a temperatura mínima.

O relatório sazonal do clima de inverno (dezembro de 2011 a fevereiro de 2012) do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) caracterizou esta estação do ano como fria e com ausência de precipitação, devido à persistência de condições sinóticas anticiclónicas de bloqueio, que se instalaram durante o mês de dezembro de 2011 e permaneceram até final de fevereiro de 2012. O anticiclone que se centrava na região Atlântica, entre o Continente e os Açores e que se estendia em crista até à Rússia (Figura 1), embora tenha sofrido algumas flutuações na sua localização, foram pouco significativas para o território do Continente e o estado do tempo manteve-se praticamente inalterado. Esta situação sinótica originou, principalmente em Fevereiro, o transporte de massas de ar ártico continental, muito frio e seco, originando descidas acentuadas da temperatura no território do continente.

ECMWF Análise para 2ª-Feira 20 Fevereiro 2012 12H Pressão ao NMM
ECMWF Análise para 2ª-Feira 20 Fevereiro 2012 12H Humidade Relativa 700hPa
20109

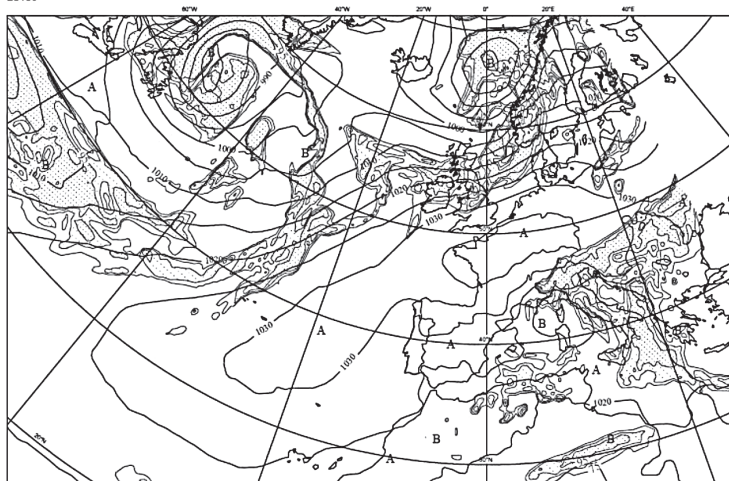


Figura 1
Carta de análise de 20 de fevereiro de 2012 (ECMWF).

A análise dos desvios mensais da temperatura do ar dos primeiros quatro meses de 2012, no território do continente, revela valores inferiores aos valores normais (1971-2000), com exceção da temperatura máxima durante janeiro e março, em que os desvios são positivos (Figura 2). As anomalias da temperatura mínima foram sempre negativas e o maior desvio ocorreu durante o mês de fevereiro (-4.7 °C).

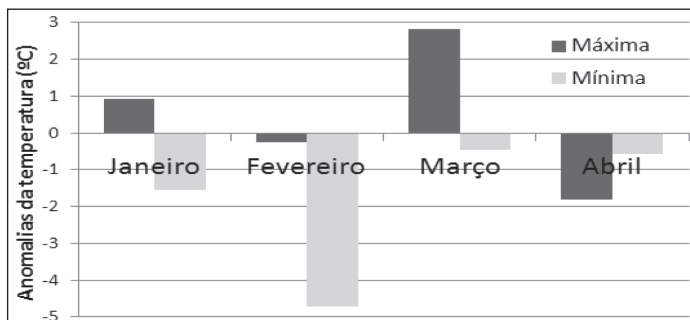


Figura 2

Desvios da temperatura mínima e máxima do ar dos primeiros quatro meses de 2012 em relação aos valores médios (1971-2000).

A análise de registos mostra que esta média mensal das temperaturas mínimas de fevereiro foi a segunda mais baixa desde 1931, em Portugal Continental. Verificou-se também que neste mês ocorreu uma onda de frio no território³ e também que, em algumas regiões do Norte e Centro, o número de dias com temperaturas negativas foi muito superior ao dos valores normais (IM, 2012).

A análise da evolução da temperatura mínima diária nos primeiros quatro meses de 2012 revela uma descida acentuada de 27 a 30 de janeiro; no dia 2 de fevereiro a temperatura mínima volta a diminuir, de forma bastante mais acentuada do que a anterior, verificando-se que no dia 3 de fevereiro ocorreu no território do continente o valor mais baixo destes quatro meses (-2,5°C); entre os dias 9 e 13 de fevereiro voltaram a ocorrer dias com temperatura mínima negativa e só a partir do dia 14 de fevereiro a temperatura mínima começou a aumentar. Na Figura 3 pode observar-se a evolução diária da temperatura mínima, bem como os valores médios mensais da temperatura mínima do período 1971-2000. Verifica-se que só nos últimos dias do mês as temperaturas mínimas voltam a estar próximas dos valores médios, salientando-se o facto de se manterem mais de 30 dias abaixo dessa média. Esta sequência de dias frios, apenas foi interrompida no dia 6 de fevereiro devido à passagem de um sistema frontal de fraca atividade, tendo-se registado nesse dia uma subida acentuada da temperatura.

³ Considera-se que ocorre uma onda de frio (do ponto de vista climatológico) quando num intervalo de pelo menos 6 dias consecutivos, a temperatura mínima do ar é inferior em 5 °C ao respetivo valor médio diário da temperatura mínima (no período de referência 1961-1990).

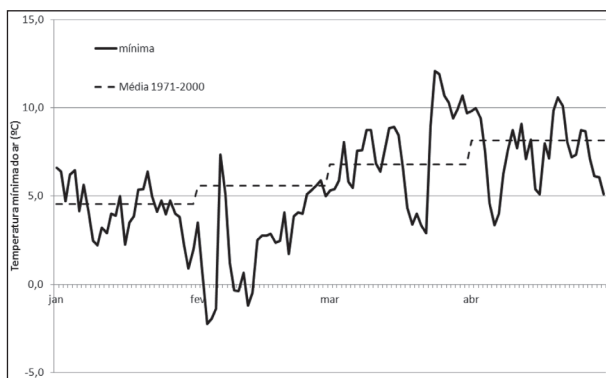


Figura 3
Temperatura mínima diária ocorrida em Portugal Continental e média das mínimas (1971-2000) nos primeiros quatro meses de 2012.

A representação da temperatura máxima diária do ar, em conjunto com os valores normais de 1971-2000 (Figura 4), permite verificar que os valores diários são, em geral, inferiores à média durante a primeira metade do mês de fevereiro e superiores na segunda quinzena. Verificou-se, aliás, que neste período ocorreu uma onda de calor⁴ no interior Norte e Centro o que, em conjunto com as temperaturas mínimas muito baixas, originou em alguns locais amplitudes térmicas diárias muito elevadas, superiores a 25°C (IM, 2012).

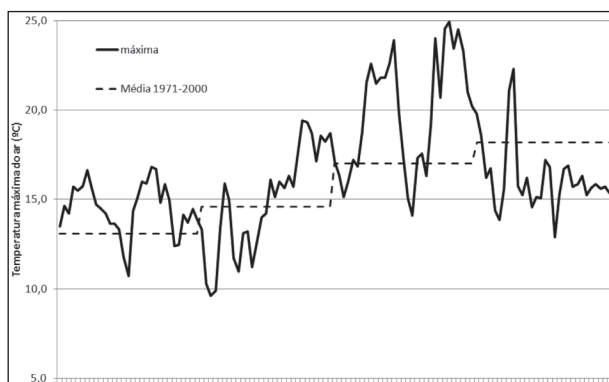


Figura 4
Temperatura máxima diária ocorrida em Portugal Continental e média das máximas (1971-2000) nos primeiros quatro meses de 2012.

O número de dias de fevereiro em que a temperatura máxima esteve abaixo da média é claramente inferior ao que se verificou para a temperatura mínima.

⁴ Considera-se que ocorre uma onda de calor (do ponto de vista climatológico) quando num intervalo de pelo menos 6 dias consecutivos, a temperatura máxima do ar é superior em 5°C ao respetivo valor médio diário da temperatura máxima (no período de referência 1961-1990).

Da análise das temperaturas máxima e mínima, parece ficar evidente que as temperaturas mínimas foram mais excecionais durante o período em análise que as temperaturas máximas. Os maiores desvios absolutos em relação aos valores normais de 1971/2000 são superiores para a temperatura mínima (-7.8 °C, no dia 3 de fevereiro) que para a temperatura máxima (-5.3 °C, no dia 18 de abril), tal como o número de dias com valores abaixo dos valores médios (1971-2000).

Análise da mortalidade

Durante o mês de fevereiro de 2012 surgiram diversas notícias sobre o número elevado de óbitos que estavam a ocorrer no território do continente. Segundo o Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, IP (INSA), em comunicado de 27 de fevereiro de 2012, registava-se em Portugal o aumento de incidência de gripe e de mortalidade, acrescentando que a análise preliminar aos dados da mortalidade que estava a ocorrer, evidenciava uma incidência elevada no grupo etário com mais de 75 anos.

A análise da variação mensal da mortalidade nos primeiros meses de 2012 (janeiro a abril) comparada com os valores médios mensais de 2001 a 2011, revela que no mês de janeiro o número de óbitos foi ligeiramente superior ao normal, durante os meses de fevereiro e março o número de óbitos foi consideravelmente mais elevado que os valores normais, e só em abril o número de óbitos se aproxima do valor normal para este mês (Figura 5).

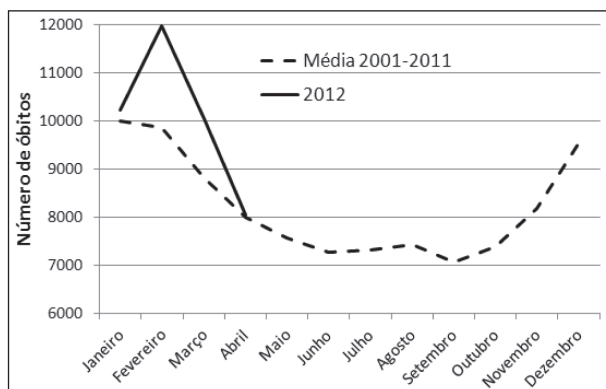


Figura 5
Variação da mortalidade mensal dos primeiros quatro meses de 2012 e média da mortalidade mensal no período 2001-2011.

Nesta análise comparativa calcula-se que durante os primeiros meses do ano de 2012 tenha ocorrido um excesso mortalidade em mais de 3500 óbitos (Figura 6), em relação aos valores médios. Os meses de fevereiro e março foram os que mais contribuíram para o excesso do número de óbitos.

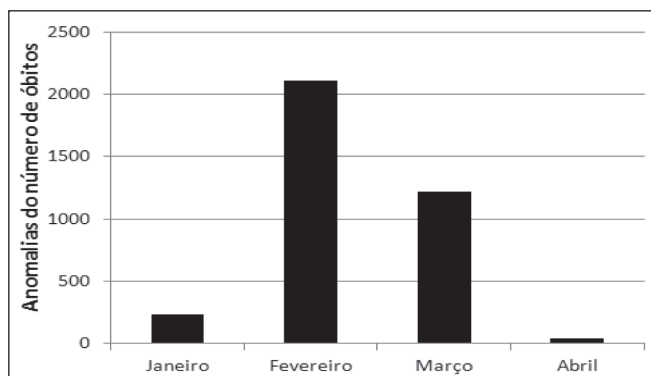


Figura 6
Desvios da mortalidade de 2012 em relação às médias mensais de 2001-2011.

A mortalidade excessiva que se registou em Portugal Continental, nos primeiros meses do ano de 2012, também se verificou em diversos países da Europa, em especial na população acima dos 65 anos (MAZICK *et al.*, 2012). Em comunicado, o *European Centre for Disease Prevention and Control* referiu alguns fatores para a mortalidade elevada que se registava nesta altura do ano um pouco por toda a Europa como o frio, o atraso sazonal da época da gripe 2011-2012, alguma ineficácia da vacina da gripe sazonal e as mutações genéticas associadas ao vírus. O estudo referia ainda que na análise da variação semanal da mortalidade registada não se verificava concordância temporal dos picos da mortalidade entre os diversos países europeus.

A análise diária da mortalidade em Portugal Continental, nos primeiros meses do ano de 2012 (janeiro a abril), mostra que o número de óbitos diário começou a aumentar no final do mês de janeiro (dia 30) e praticamente não parou de aumentar até à 3ª década do mês de fevereiro (dia 23), data em que foi atingido o máximo diário. A partir desta data os valores diários do número de óbitos começaram a diminuir mas só na 2ª metade do mês de março se aproximaram dos valores médios (Figura 7). Verifica-se, assim, que o número de óbitos diário esteve mais de 45 dias consecutivos (de 30 de janeiro e 21 de março) com mortalidade acima da média.

No dia 31 de janeiro registou-se o primeiro pico de mortalidade, com mais 46 óbitos/dia que o valor normal do mês; no dia 6 de fevereiro ocorreu novo pico, superior ao anterior, com mais 92 óbitos/dia em relação à média; nos dias 23 e 27 de fevereiro foram registados os picos mais altos de mortalidade, com mais de 126 e 119 óbitos/dia relativamente ao valor normal do mês. A partir de 28 de fevereiro o número de óbitos diário começou a diminuir, embora estivesse bastante elevado relativamente aos valores normais; é ainda possível identificar outro pico de mortalidade no dia 1 de março, com mais de 126 óbitos/dia, em relação ao valor normal para este mês. Só a partir de 21 de março o número de óbitos que ocorreu em 2012 se aproxima dos valores normais para o mês.

Na última década de março e no mês de abril, o número de óbitos diário esteve bastante próximos dos valores normais para cada um destes meses.

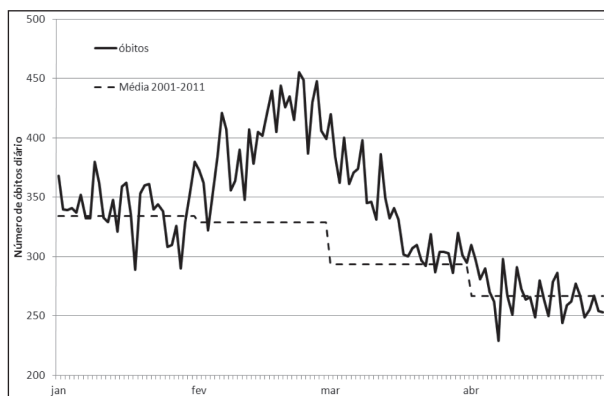


Figura 7

Mortalidade diária em Portugal Continental nos quatro primeiros meses de 2012 e médias mensais (2001-2011).

Análise das relações entre a temperatura e a mortalidade

Estudos que analisam a mortalidade e a temperatura no inverno, em Portugal e em outros países do Hemisfério Norte, mostram uma relação inversa das duas variáveis, ou seja, quando a temperatura do ar diminui a mortalidade tende a aumentar e vice-versa, ou seja, quando a temperatura do ar aumenta a mortalidade tende a diminuir (PINHEIRO, 1990; ALBERDI *et al.*, 1998; Díaz *et al.*, 2005, 2006; MARQUES *et al.*, 2009).

Tendo-se verificado, neste estudo, que a excecionalidade da temperatura mínima do ar durante os primeiros meses de 2012 foi muito superior à da temperatura máxima e considerando que, no inverno, as temperaturas mínimas baixas têm mais influência no número de óbitos do que as temperaturas máximas elevadas, procedeu-se à análise conjunta, mais detalhada, das séries de temperatura mínima e da mortalidade diárias (Fig. 8). Da representação gráfica da evolução diária da temperatura mínima observam-se, de forma clara, as grandes variações diárias e as variações correspondentes no número de óbitos em Portugal Continental. Salientam-se:

- a descida da temperatura mínima, que se inicia a 27 de janeiro até dia 30 e que antecede o primeiro pico de mortalidade que se registou no dia 31 desse mês,
- a descida da temperatura mínima que começa a 2 de fevereiro até dia 3 e que antecede o segundo pico de mortalidade registado no dia 6 desse mês,
- a descida da temperatura mínima observada de 9 a 13 de fevereiro, não se conseguindo identificar um pico de mortalidade subsequente tão evidente como os anteriores.

Verifica-se, nesta análise, que os picos de mortalidade não ocorrem em simultaneidade diária com os valores mais baixos de temperatura, mas com algum desfasamento diário, como se concluiu também em outros estudos (DÍAZ *et al.*, 2006; MARQUES, 2009). Este fato parece evidenciar alguma resiliência ao frio pelos humanos, mas também a debilitação tardia na saúde das populações, em especial de grupos de risco e idosos, de forma a não conseguirem recuperar e sucumbindo posteriormente.

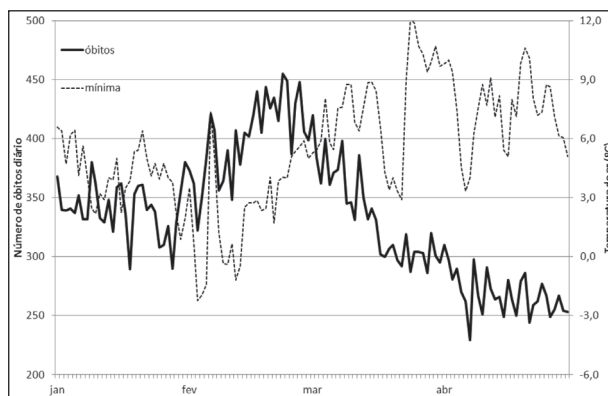


Figura 8

Variação diária da temperatura mínima e da mortalidade diária em Portugal Continental, nos quatro primeiros meses de 2012.

De modo a identificar tendências nas séries diárias da temperatura mínima e do número de óbitos recorreu-se à aplicação do método SSA, conforme descrito anteriormente. Sendo o período de 1 de janeiro a 30 de abril de 2012 ($N=121$ dados), utilizou-se uma largura de janela $M=40$. Detetaram-se várias componentes identificadas como tendência em cada uma das séries.

A reconstrução da soma destas componentes de tendência, tanto da série da temperatura mínima como da série do número de óbitos, está representada na Figura 9.

A partir das tendências não lineares, já filtradas da variabilidade de pequena escala diária que nesta análise é considerada como ruído, é possível determinar os períodos de aumento e de diminuição das séries em análise. Verifica-se que a temperatura mínima decresce até 6 de fevereiro, aumentando a partir dessa data até 30 de março, voltando a decrescer a partir daí. A análise da série de tendência da mortalidade revela sinais de diminuição desde o início do registo até ao dia 23 de janeiro, data em que se inverte a tendência para aumento que se prolonga até ao dia 22 de fevereiro.

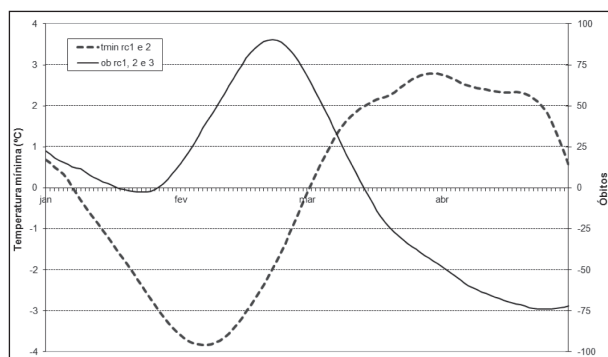


Figura 9

Tendências não lineares da temperatura mínima e da mortalidade diária (janeiro a abril de 2012).

De modo a estimar a influência do frio na mortalidade estabeleceram-se dois critérios na determinação do período de interesse para análise. Estes critérios são baseados em resultados de trabalhos anteriores já referidos, que mostram que no Inverno a mortalidade se correlaciona de modo indireto com a temperatura mínima, e que a diminuição da temperatura mínima ainda tem influência na mortalidade até aos 7 dias seguintes. Assim definiram-se os seguintes períodos de análise: 1 de janeiro a 6 de fevereiro, período em que a temperatura mínima esteve sempre a diminuir, conforme os resultados das tendências não lineares; período de 1 de janeiro a 13 de fevereiro, correspondente ao período anterior acrescentado de 7 dias; período de 24 de janeiro a 6 de fevereiro, período comum em que se verificou simultaneamente descida da temperatura mínima e aumento de mortalidade por análise das tendências não lineares; período de 24 de janeiro a 13 de fevereiro, correspondente ao anterior e acrescido de 7 dias.

Apresentam-se na Tabela I os resultados obtidos sobre o excesso de mortalidade (anomalia do número de óbitos em relação aos valores médios) para os períodos referidos anteriormente, em valor e percentagem. As anomalias são calculadas a partir da diferença do número diário de óbitos observado e do respetivo valor médio mensal calculado para o período 2001/2011.

Tabela I
Anomalias do número de óbitos nos períodos em análise

Período	Anomalia do nº de óbitos
1 de janeiro a 6 de fevereiro	347 (2.9%)
1 de janeiro a 13 de fevereiro	786 (5.4%)
24 de janeiro a 6 de fevereiro	203 (4.4%)
24 de janeiro a 13 de fevereiro	550 (7.9%)

Pode verificar-se da análise que o período de 24 de janeiro a 6 de fevereiro, período comum em que se verificou simultaneamente descida da temperatura mínima e aumento de mortalidade, acrescido de mais 7 dias, foi aquele onde o número de óbitos registou o maior acréscimo em relação ao valor médio (mais 7.9%).

Verifica-se, no entanto, que para além destes períodos em que se considera que a temperatura mínima tenha tido grande influência na mortalidade e que se prolongam até 13 de fevereiro originando sempre um aumento, existe ainda um período em que a mortalidade continua a aumentar (de 14 até 22 de fevereiro, data do pico máximo de mortalidade avaliado por SSA) que não consegue explicar-se recorrendo à variabilidade da temperatura mínima. De facto, neste período, a temperatura mínima já se encontra em fase de aumento e já estão contabilizados os 7 dias seguintes de influência no aumento da mortalidade.

Os cálculos efectuados mostram que neste período de 14 a 22 de fevereiro ocorreu um excesso de 831 óbitos, ou seja, houve um aumento de 28.1% da mortalidade em relação aos valores médios para o mesmo período. Este é, assim, o período em que os valores observados da mortalidade mais aumentaram em relação aos valores esperados.

Por não se encontrar explicação para a mortalidade registada neste período através das relações conhecidas com a variabilidade da temperatura mínima, devem admitir-se outros fatores de influência, alguns ainda relacionados com a variabilidade da temperatura como por ex. a ocorrência de uma onda de calor no final de fevereiro com elevadas amplitudes térmicas diárias depois da ocorrência de uma onda de frio intensa, ou outros sugeridos por meios oficiais

da saúde, como por ex., o aumento de incidência de gripe, o atraso da época sazonal da gripe ou as mudanças genéticas do vírus da gripe.

Conclusões

Mostra-se, neste estudo, que a média da temperatura mínima em Portugal Continental esteve abaixo dos valores médios nos primeiros quatro meses de 2012, com o maior valor absoluto registado no mês de fevereiro, com 4.7°C abaixo da média. Este valor médio da temperatura mínima mensal observada em fevereiro foi o segundo mais baixo desde 1931 (IM, IP).

Mostra-se que parte do excesso de mortalidade que ocorreu em Portugal Continental nestes meses, em especial a que se registou de janeiro até meio de fevereiro, deverá estar diretamente relacionada com as temperaturas baixas que ocorreram.

O aumento do número de óbitos, posterior à data que se considera como influenciada diretamente pela diminuição da temperatura mínima (14 de fevereiro), ainda se verificou até 22 de fevereiro, pelo que se devem considerar outras explicações para a mortalidade excessiva que se verificou neste período (28%). Admitem-se fatores de influência, alguns ainda relacionados com a variabilidade da temperatura como por ex. a ocorrência de uma onda de calor no final de fevereiro com elevadas amplitudes térmicas diárias depois da ocorrência de uma onda de frio intensa, ou outros sugeridos por meios oficiais da saúde, como por ex., o aumento de incidência de gripe, o atraso da época sazonal da gripe ou as mudanças genéticas do vírus da gripe.

Bibliografia

- ALBERDI, J. C.; DÍAZ J.; MONTERO, J. C. e MIRÓN, I. (1998) - "Daily mortality in Madrid Community (Spain) 1986-1991: Relationship with atmospheric variables". *European Journal of Epidemiology*, 14, pp. 571-578.
- ALCOFORADO, M. J.; NUNES, M. F. e GARCIA, R. (1999) - "A percepção da relação clima-saúde pública em Lisboa, no século XIX, através da obra de Marino Miguel Franzini". *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, 17 (2), pp. 31-40.
- ANTUNES, S.; PIRES, H. O. e ROCHA, A. (2001) - "Improvement of prediction using SSA methods in addition to MEM: Case of NAO study", *8th International Meeting on Statistical Climatology*, GKSS, Luneburg, Alemanha.
- ANDRADE, H. (2003) - *Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa*. Tese de Doutoramento, apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.
- DESSAI, S. (2003) - "Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An Assessment of the potential impacts of climate change". *International Journal of Biometeorology*, 48, pp. 37-44.
- DÍAZ, J.; GARCÍA, R.; LÓPEZ, C.; LINARES, C.; TOBIAS, A. e PRIETO L. (2005) - "Mortality impact of extreme winter temperatures". *International Journal biometeorology*, 49, pp. 179-183.
- DÍAZ, J., LINARES, C. e TOBIAS, A. (2006) - "Impact of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain) among the 45-65 age-group". *International Journal Biometeorology*, 50, pp. 342-348.
- FALCÃO, J. M.; CASTRO, M. J. e FALCÃO, J. P. (1988) - "Efeitos de uma onda de calor na mortalidade da população do distrito de Lisboa". *Saúde em Números*, 3(2), pp. 9-12.

- FALCÃO, J. M.; PAIXÃO, P. J.; NOGUEIRA, J. M. e ELEANORA, J. P. (2004) - *Efeitos do frio nas famílias portuguesas*. Observatório Nacional de Saúde Estudo na amostra ECOS.
- MARQUES, J. (2007) - *Condições climáticas de Inverno e a mortalidade diária no distrito de Lisboa*. Tese de mestrado, apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.
- MARQUES, J. e ANTUNES S. (2009) - "A perigosidade natural da temperatura do ar em Portugal Continental: A avaliação do risco na mortalidade". *Territorium*, 16, pp. 49-62
- MAZICK, A.; GERGONNE, B.; NIELSEN, J.; WUILLAUME, F.; VIRTANEN, M. J.; FOUILLET, A.; UPHOFF, H.; SIDEROGLOU, T.; PALDY, A.; OZA, A.; NUNES, B.; FLORES-SEGOVIA, V. M.; JUNKER, C.; McDONALD, S. A.; GREEN, H. K.; PEBODY R. e MOLBAK, K. (2012) - "Excess mortality among the elderly in 12 European countries, February and March 2012. Euro Surveill". <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=20138>
- PEIXOTO, J. P. (1987) - *O sistema climático e as bases físicas do clima*. Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais.
- PINHEIRO, C. (1990) - "Um frio de morrer ou a variação da mortalidade e clima nos distritos de Viana do Castelo e de Faro". *Arquivos do Instituto Nacional de Saúde*, 15, pp. 61-112.
- PLAUT, G. e VAUTARD, R. (1994) - "Spells of low-frequency oscillations and weather regimes in the northern hemisphere". *Journal of the Atmospheric Sciences*, 51-2, pp. 210-236.
- PNAAS (2008) - Plano Nacional de Acção Ambiente e Saúde.
- SACARRÃO, G. F. (1981) - *A temperatura como factor ecológico*. Secretaria de Estado do Urbanismo e Ambiente. Comissão Nacional do Ambiente.
- VAUTARD, R.; YIOU, P. e GHIL M. (1992) - "Singular spectrum analysis: A toolkit for short, noisy chaotic signals". *Physica D.*, 58, pp 95-126.

Sites:

http://www.insa.pt/sites/INSA/Portugues/ComInf/Noticias/Documents/2012/Fevereiro/Comunicado_27022012.pdf (acesso 05/01/2013)

Tendências nos extremos de precipitação em Portugal Continental em 1941-2012

M. Isabel P. de Lima

IMAR - Instituto do Mar, Centro do Mar e Ambiente, Universidade de Coimbra e ESAC, Instituto Politécnico de Coimbra.
iplima@esac.pt

Fátima Espírito Santo

Instituto Português do Mar e da Atmosfera.
fatima.coelho@ipma.pt.

Sofia Cunha

Instituto Português do Mar e da Atmosfera.
sofia.cunha@ipma.pt.

Álvaro Silva

Instituto Português do Mar e da Atmosfera.
alvaro.silva@ipma.pt

Resumo:

As variações na frequência e intensidade de fenómenos meteorológicos e climáticos extremos decorrentes de alterações do clima poderão ter impactos significativos na sociedade e no ambiente, nomeadamente nos recursos hídricos. Neste trabalho investigam-se alterações no regime de precipitação em Portugal Continental e na climatologia de eventos extremos usando índices climáticos recomendados pela Organização Mundial de Meteorologia, calculados a partir de 27 séries diárias de precipitação registadas em 1941-2012. Os resultados sugerem a existência de diferenças regionais nas tendências observadas nestes índices. Observa-se uma maior assimetria na distribuição temporal da precipitação, assim como variações na intensidade, persistência e frequência de fenómenos extremos a várias escalas, o que poderá ter impacto local e regional, nomeadamente no risco associado a situações de cheia e de seca.

Palavras-chave: Precipitação. Extremos. Tendências. Portugal Continental.

Abstract:

Trends in extreme rainfall in mainland Portugal in 1941-2012

Changes in the climate are expected to cause variations in the frequency and intensity of meteorological and climate extremes that might affect significantly the society and the environment, including water resources. In this study we investigate changes in the precipitation regime in mainland Portugal and the climatology of extreme events in 1941-2012. We analyse climate indices of extreme precipitation calculated from 27 daily precipitation time series recorded across the area. Results suggest the existence of regional differences in the indices' trends. They point out to a greater asymmetry in the temporal distribution of precipitation and variations in the intensity, persistence and frequency of extreme events at various scales, which may influence the risk associated with floods and droughts.

Keywords: Precipitation. Extremes. Trends. Mainland Portugal.

1. Introdução

A discussão do aquecimento global e de alterações climáticas tem conduzido à avaliação das implicações na variabilidade espacial e temporal de algumas componentes do balanço hídrico e, consequentemente, no ciclo da água e sistemas hidrológicos. Segundo o IPCC (2007) “é provável um aumento na frequência de eventos de precipitação intensa e extrema, nas latitudes médias e altas”. Variações na frequência e/ou intensidade de fenómenos meteorológicos e climáticos extremos poderão ter profundos impactos na sociedade e no ambiente (KARL *et al.*, 1997), constituindo um importante factor de risco, nomeadamente no risco associado a situações de cheia e de seca, situação para a qual muito podem contribuir as vulnerabilidades locais e regionais. Torna-se assim evidente a importância da análise e investigação das alterações destes fenómenos. As alterações climáticas têm efeitos na variabilidade, persistência e intensidade de precipitação, aspectos importantes no estudo de regimes de precipitação. Deste modo os regimes hidrológicos e, portanto, a distribuição, disponibilidade e sustentabilidade dos recursos hídricos regionais poderão ser afectados (MOBERG *et al.*, 2006; IPCC, 2007).

As recentes alterações observadas na variabilidade dos processos hidro-climáticos evidenciam diferenças nos valores médios das variáveis relevantes e, mais importante, alterações nos eventos extremos a manifestarem-se num intervalo considerável de escalas espaciais e temporais. As limitações existentes na análise das tendências estimadas em variáveis hidrológicas, em especial na presença de forte variabilidade interanual, são agravadas por diferenças regionais e limitações da cobertura espacial e temporal das redes de observação (HUNTINGTON, 2006).

A vulnerabilidade aos fenómenos extremos aumentou significativamente nas últimas décadas, devido a vários factores tais como o aumento da população, a concentração nas zonas urbanas, a pressão no litoral, o aumento das superfícies impermeáveis, desaparecimento de zonas húmidas, construções em zonas de inundações, etc. Embora de vulnerabilidade diferente, a verdade é que todas as regiões, em maior ou menor grau, estão sujeitas à ocorrência de desastres naturais, que constitui ainda hoje uma grande ameaça para o Homem, que se concretiza em perdas de vidas e bens, alterações ambientais e prejuízos materiais avultados (REBELO, 2003). Assim, a adaptação toma um sentido local/regional, entendendo-se a adaptação como sendo a forma como os sistemas natural e humano podem responder da melhor maneira às alterações do clima, de forma a reduzir os danos à qualidade da vida e sustentabilidade dos sistemas e a explorar as oportunidades benéficas.

Neste trabalho investigam-se, às escalas local e regional, alterações no regime de precipitação em Portugal Continental a partir de 27 séries temporais diárias de precipitação registadas nos últimos 70 anos. A climatologia de eventos extremos de precipitação, em particular a frequência, intensidade e duração de episódios de precipitação intensa e períodos secos, foi explorada recorrendo a índices climáticos definidos para valores diários da precipitação, e recomendados designadamente pela Organização Mundial de Meteorologia. Os resultados sugerem, em Portugal Continental, a existência de diferenças regionais nas tendências observadas a várias escalas. Observa-se uma maior assimetria na distribuição temporal da precipitação, assim como variações na intensidade e frequência de fenómenos extremos. Estes resultados enquadram-se nas projecções do clima futuro que apontam para a ocorrência de temperaturas mais altas e para situações de precipitação intensa e/ou seca, que

poderão ocorrer com maior frequência e intensidade. Perspectivam-se as consequências dessa maior variabilidade na área de estudo.

2. Área de estudo e dados de precipitação

Dados de precipitação

Para este estudo seleccionaram-se séries diárias de precipitação observadas no período 1941-2012 em 27 estações climatológicas e udométricas, identificadas no Quadro I e na Figura 1. A figura mostra também a hipsometria do território, sendo a maior altitude de aproximadamente 2000 m. Os dados utilizados são das redes de estações do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). A selecção das séries teve em conta a representatividade, a duração dos registos e a qualidade e homogeneidade dos dados. Foi dada especial atenção à

Quadro I

Identificação das estações meteorológicas e postos udométricos.

Estação		Altitude (m)
N.º	Nome	
1	Montalegre	1005
2	Bragança	690
3	Ponte de Lima	18
4	Mirandela	250
5	Miranda do Douro	693
6	Pinhão	130
7	Porto	93
8	Pinhel	606
9	Viseu	636
10	Penhas Douradas	1380
11	Coimbra	171
12	Castelo Branco	386
13	Cela	2
14	Gavião	273
15	Portalegre	597
16	Santarém	73
17	Coruche	25
18	S. Julião Tojal	6
19	Lisboa	77
20	Moinhola	41
21	Évora	309
22	Amareleja	192
23	Beja	246
24	Castro Verde	217
25	Odemira	49
26	Aljezur	7
27	S.Brás Alportel	334

ausência de falhas (i.e. tomou-se como critério que o número de falhas de observação fosse inferior a 1%). Para além do controlo de qualidade dos dados, aplicaram-se testes de homogeneidade às séries mensais de precipitação, programa RHtestsV3 (WANG e FENG, 2010), com o objectivo de identificar heterogeneidades nas séries. Nos casos em que foram encontradas evidências de descontinuidades, e caso existisse, recorreu-se à história da estação (*metadata*) para confirmação. Confirmada a descontinuidade, as séries de valores diários da precipitação foram ajustadas de acordo com a metodologia proposta por WANG *et al.* (2007) e WANG (2008a,b). São fornecidos detalhes sobre a homogeneização das séries de precipitação em LIMA *et al.* (2013).

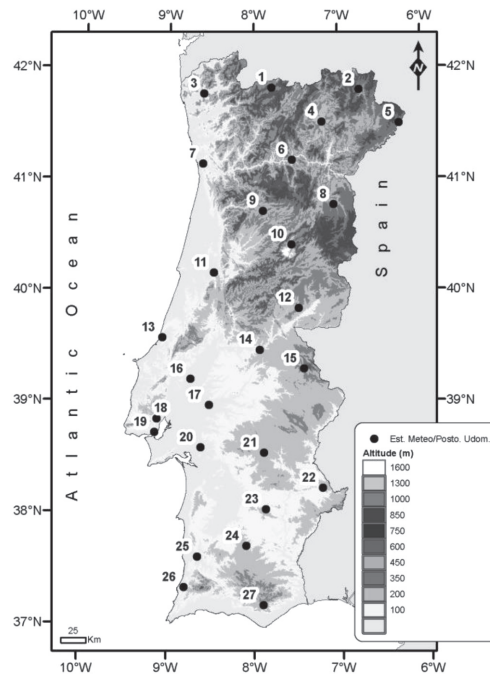


Figura 1
Rede de estações meteorológicas e postos udométricos, sobre mapa hipsométrico de Portugal Continental.

Climatologia da precipitação

Em Portugal Continental, onde o clima é predominantemente influenciado pela latitude, a orografia e a proximidade do Oceano Atlântico, algumas variáveis climáticas, incluindo a precipitação, apresentam fortes gradientes norte-sul e oeste-este, e variabilidade sazonal e inter-anual muito acentuada (MIRANDA *et al.*, 2006; LIMA *et al.*, 2007, 2010). Esta variabilidade da precipitação contribui para tornar a região vulnerável a fenómenos extremos associados à falta (secas) ou ao excesso de precipitação (cheias).

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial dos valores médios da precipitação anual e do número de dias com precipitação igual ou superior a 10 mm (normal climatológica 1971-2000). Estes elementos permitem uma melhor compreensão da contribuição dos índices de extremos para o clima médio. A região Noroeste (Minho) é uma das zonas da Europa que regista valores mais elevados de precipitação, atingindo a média da precipitação anual valores superiores a 2500 mm; e em várias zonas do interior do Alentejo, a precipitação anual acumulada não ultrapassa, em média, os 500 mm. O valor médio do número de dias no ano com precipitação ≥ 10 mm varia entre 15 e 25 dias na região costeira do Centro e Sul do território, Península de Setúbal e nas terras baixas do interior e é superior a 50 dias em parte da região Norte.

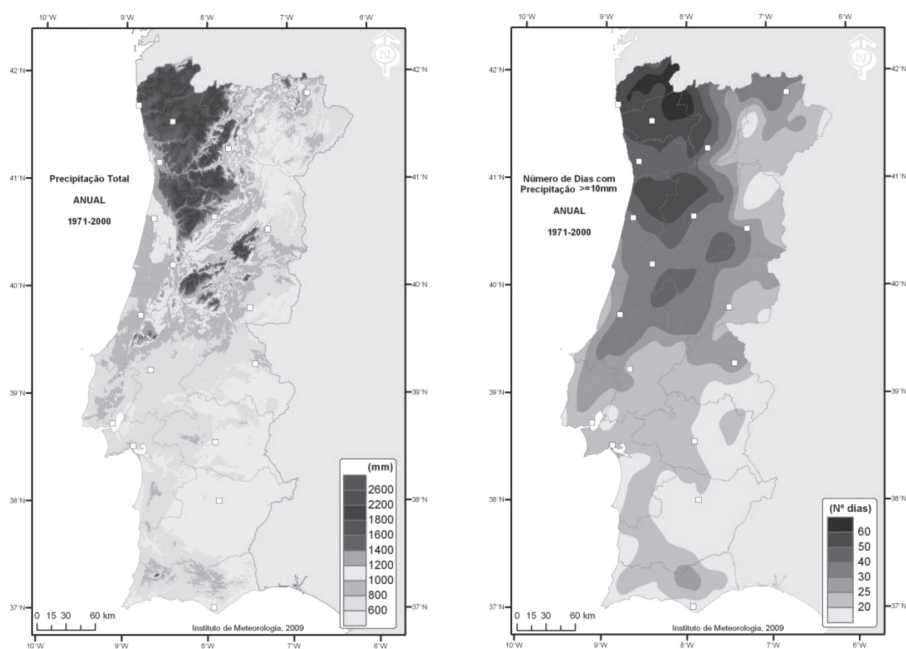


Figura 2

Valores médios da precipitação anual (esq.) e do número de dias com precipitação igual ou superior a 10 mm (dir.) - normal climatológica 1971-2000.

Fonte: IM, (2008).

3. Métodos

Neste trabalho exploram-se variações recentes na climatologia da precipitação extrema recorrendo a índices climáticos definidos para valores diários da precipitação. Os índices, que se apresentam no Quadro II, encontram-se entre os recomendados pela Organização Mundial de Meteorologia (PETERSON *et al.*, 2001, e disponíveis em http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/list_27_indices.html).

Quadro II

Índices climáticos de precipitação.

	Índices	Definição	Unidades
Persistência	CDD	Número máximo de dias consecutivos secos	dias
	CWD	Número máximo de dias consecutivos com precipitação ≥ 1 mm	dias
Intensidade	R10	Número de dias com precipitação ≥ 10 mm	dias
	RX5D	Precipitação máxima acumulada em 5 dias consecutivos	mm
	RX10D	Precipitação máxima acumulada em 10 dias consecutivos	mm
	SDII	Intensidade diária da precipitação (i.e. precipitação total dividida pelo nº de dias com precipitação ≥ 1 mm)	mm/dia
Percentil	R90p	Percentil 90 dos dias chuvosos	mm/dia
	R90T	% da quantidade de precipitação > percentil 90 dos dias chuvosos	%
	R90N	Número de episódios > percentil 90 dos dias chuvosos	dias
	PRECTOT	Precipitação total	mm

Os índices foram calculados na escala anual, tendo-se procedido à respectiva análise de tendência. Utilizou-se o *t*-teste para determinar a significância estatística dos resultados. O teste foi aplicado para os níveis de significância de 25% e 5%. O sinal positivo ou negativo da estatística de teste identifica, respectivamente, a presença de tendência positiva (aumento) ou negativa (diminuição) da precipitação.

O conceito de probabilidade está associado à caracterização das incertezas de tipo aleatório, inerentes à variabilidade natural nos processos relevantes. Este conceito é fundamental na definição quantitativa do risco e na sua análise, que assume uma grande complexidade no domínio da água (ALMEIDA, 2011). Os índices estudados neste trabalho incluem índices probabilísticos, nomeadamente os relativos ao percentil 90, aos quais está associada uma probabilidade de ocorrência de 10% (ou seja, estão associados a períodos de retorno de 10 anos).

A análise das correlações entre os índices de condições médias (PRECTOT) e índices de extremos, foi usada como ferramenta adicional na análise da qualidade dos dados. As correlações (*r*) foram calculadas pelo método de Pearson.

4. Resultados e discussão

No Quadro III apresentam-se os resultados relativos à análise de tendência dos índices estudados; o sinal positivo ou negativo da tendência indica respectivamente aumento e diminuição da variável em análise. Não sendo expresso o contrário, a referência à significância estatística dos resultados é relativa ao nível de 5%. Na cartografia dos índices o tamanho dos símbolos é proporcional aos valores das tendências.

Quadro III

Tendência dos índices anuais de precipitação: percentagem de estações com tendências positivas (+)/negativas (-) e correspondentes tendências estatisticamente significativas (Sig) ao nível de 5%.

Índices	CDD	CWD	R10	RX5D	RX10D	R90p	R90T	R90N	SDII	PRECTOT
+	37	19	30	33	30	44	59	48	41	37
Sig +	0	0	0	0	0	19	26	4	15	0
-	63	81	70	67	70	56	41	52	59	63
Sig -	0	7	15	22	15	11	19	11	26	15

Precipitação total: variabilidade temporal e espacial

A variabilidade inter-anual da média regional da precipitação em Portugal Continental, no período 1941-2012, apresenta-se na Figura 3. A precipitação evidencia grande irregularidade e não se verifica tendência significativa no valor médio anual; no entanto, os últimos 30 anos foram particularmente pouco chuvosos em Portugal Continental, em comparação com os valores médios observados no período 1971-2000 (Figura 2). De referir que, no período analisado, o ano de 2005 foi o mais seco, seguido de 2007 e 2004.

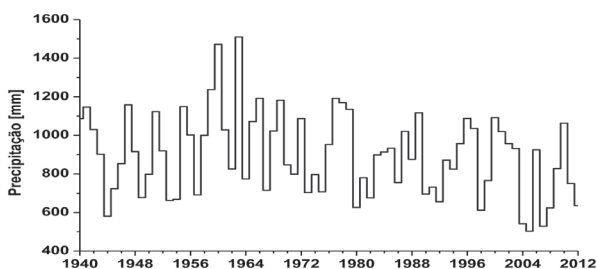


Figura 3
Variabilidade inter-anual da média regional da precipitação no período 1941-2012.

A Figura 4 (esq.) apresenta a distribuição espacial das tendências da precipitação anual nas 27 estações seleccionadas (Figura 1 e Quadro I). Verifica-se que mais de 60% das

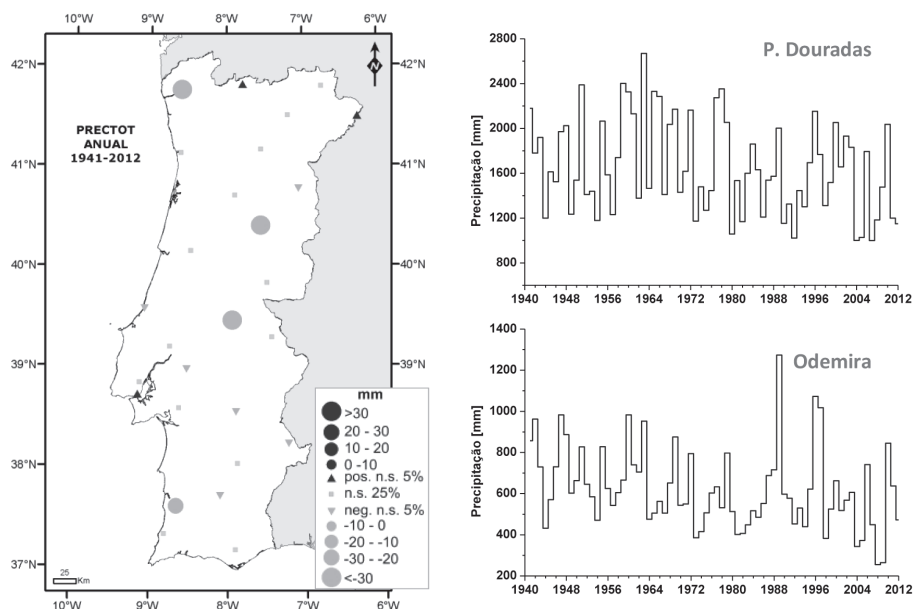


Figura 4
Tendências, por década, da precipitação anual no período 1941-2012 (esq.) e variabilidade inter-anual em dois dos locais em que a diminuição da precipitação é estatisticamente significativa ao nível de 5% (dir.).

estações apresentam tendência de diminuição, estatisticamente significativa em 15% e 22% dos casos, respectivamente ao nível de 5% e 25%. A Figura 4 (dir.) mostra também a variabilidade inter-anual em dois dos locais (Penhas Douradas, na Serra da Estrela, e Odemira, no Baixo Alentejo) em que a diminuição da precipitação é estatisticamente significativa ao nível de 5%.

Persistência de dias consecutivos secos e com precipitação

No período 1941-2012 não se observam tendências estatisticamente significativas ao nível de 5% no índice CDD (Figura 5 - esq.), relativo a número máximo de dias consecutivos secos, definindo-se como dia seco um dia em que a precipitação é inferior a 1.0 mm. No entanto, houve diminuição neste índice em cerca de 2/3 das estações (entre 1 e 3 dias por década) e aumento, até cerca de 2 dias por década, nas restantes. Cerca de 80% das estações apresentam tendência de diminuição do número de dias consecutivos com precipitação, CWD (Figura 5 - dir.).

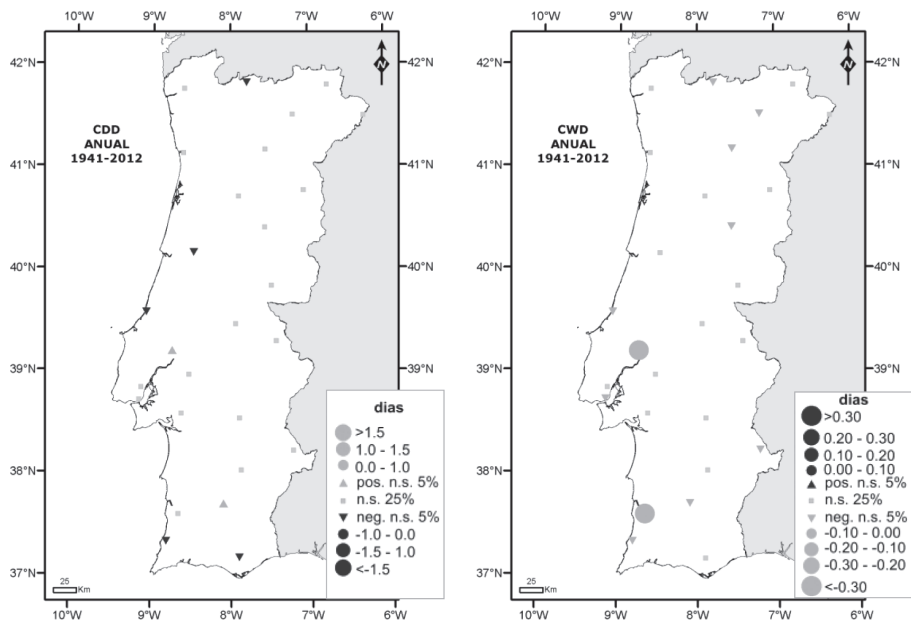


Figura 5
Tendência, por década, do número máximo de dias consecutivos secos (esq.) e com precipitação (dir.).

Intensidade

Número de dias com precipitação ≥ 10 mm

A tendência do número de dias com precipitação igual ou superior a 10 mm (R10) pode ser um indicador do aumento ou diminuição da intensidade de precipitação. A maioria das

estações (70%) apresenta diminuição do índice anual R10, estatisticamente significativa em apenas 15 das estações (Figura 6).

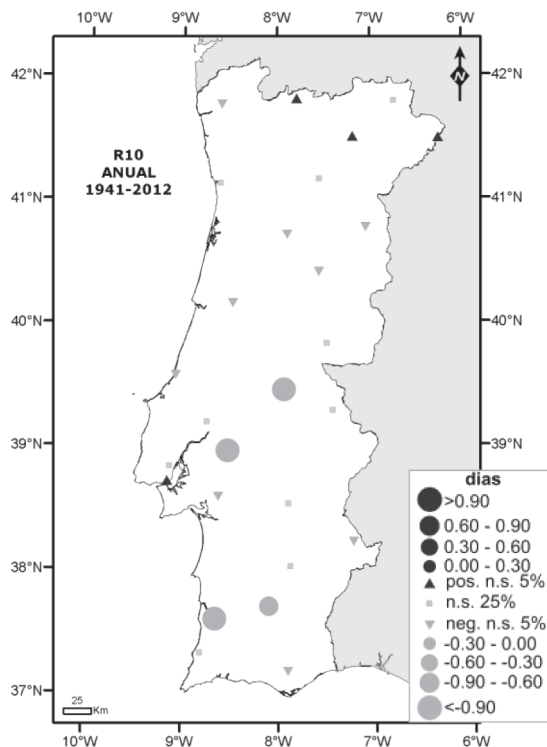


Figura 6
Tendência, por década, do número de dias com precipitação igual ou superior a 10 mm.

Precipitação máxima acumulada em 5 dias e 10 dias consecutivos

Os índices RX5D e RX10D são importantes do ponto de vista da vulnerabilidade e risco de ocorrência de cheias. Em termos anuais verifica-se uma tendência de diminuição na precipitação máxima acumulada em 5 e 10 dias consecutivos (Figura 7), em cerca de 70% das estações, sendo este resultado estatisticamente significativo em 22% e 15% das estações, respectivamente. A tendência anual de RX5D varia entre -7.7 e 6.6 mm/década e a de RX10D entre -11.8 e 10.2 mm/década. De referir ainda que, considerando os dois índices, apenas 6 estações (4 na região norte: Montalegre, Miranda do Douro, Mirandela, Porto; e 2 na região de Lisboa: Lisboa e São Julião do Tojal) apresentam tendência positiva. Os maiores valores de RX5D e RX10D ocorreram nas últimas décadas e em particular nas regiões do Centro e Sul.

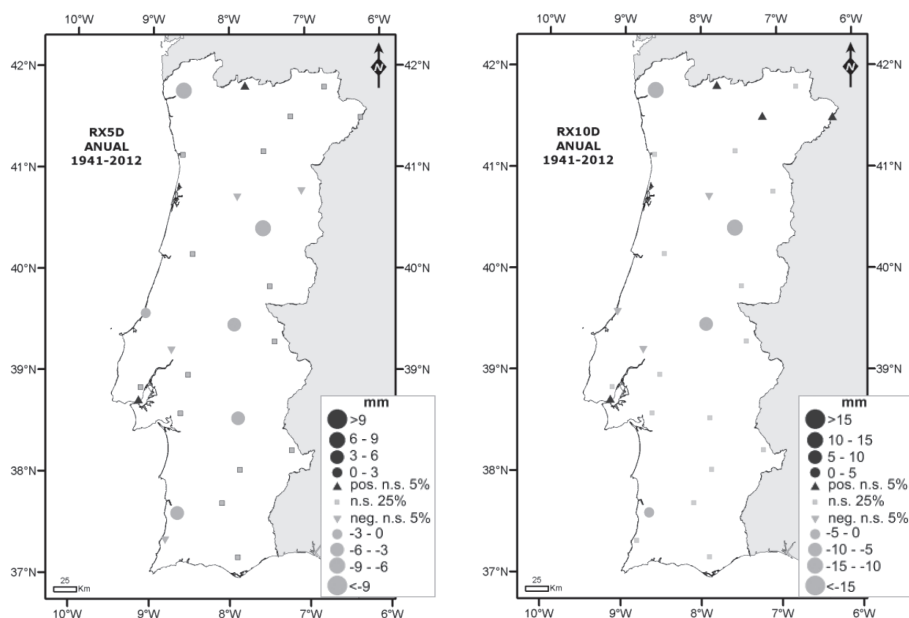


Figura 7
Tendências, por década, dos índices de precipitação máxima acumulada em 5 dias consecutivos (esq.) e 10 dias consecutivos (dir.).

Intensidade diária da precipitação

A tendência no índice anual SDII, da intensidade diária da precipitação, varia entre -0.4 e 0.5 mm/década. Em 26% das estações verifica-se uma diminuição estatisticamente significativa do índice SDII e apenas 15% das estações apresentam aumento estatisticamente significativo. A diminuição de SDII observa-se em praticamente todo o território, mas com menor incidência na região Norte do país.

Percentil 90 da precipitação diária: quantidade de precipitação e número de episódios

As tendências do índice R90p, percentil 90 dos dias chuvosos, apresentam uma distribuição espacial irregular (Figura 8 - esq.), com tendências positivas em 44% das estações, estatisticamente significativas em 19% das estações, e tendências negativas em 56% das estações, estatisticamente significativas em apenas 11% das estações.

A tendência da contribuição de dias chuvosos acima do percentil 90 para a precipitação total anual apresenta um padrão semelhante ao índice R90p; ou seja, o índice R90T aumentou em 59% das estações e diminuiu em 41% das estações, sendo estes resultados estatisticamente significativos respectivamente em 26% e 19% das estações (Figura 8 - dir.).

Por outro lado, o número anual destes episódios diários chuvosos (R90N) diminuiu em 52% das estações (estatisticamente significativo em 11% das estações) e só uma estação (i.e. cerca de 4%) apresenta um aumento estatisticamente significativo.

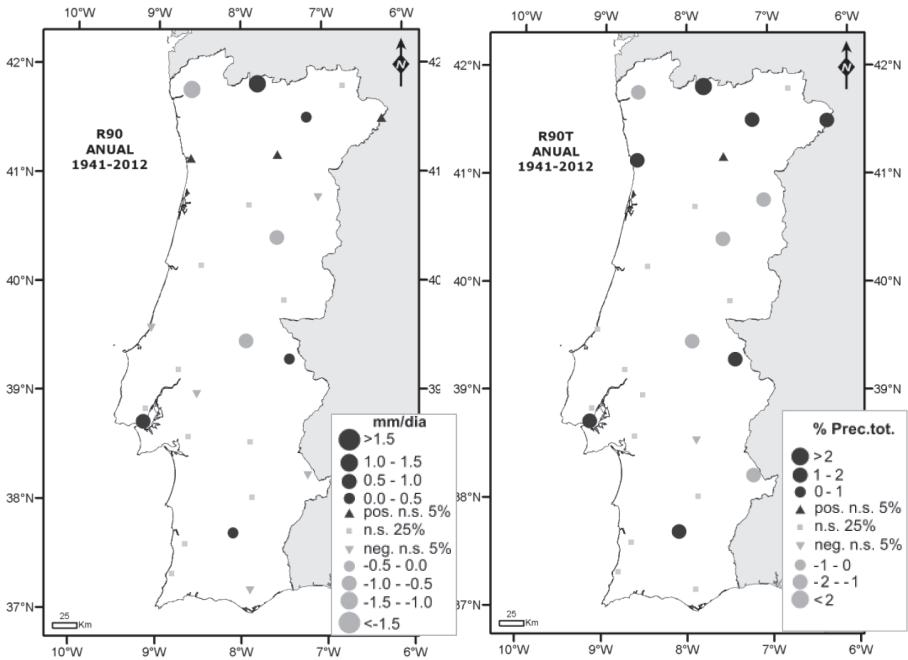


Figura 8
Tendências, por década, dos índices R90p (esq.) e R90T (dir.).

Correlação entre a precipitação total e os índices de extremos

Analisa-se as correlações entre a precipitação total e os índices de extremos nas 27 estações, no período 1941-2012. A Figura 9 mostra os coeficientes de correlação e a variação entre as estações. Todas as estações apresentam correlações positivas e estatisticamente significativas, e em média as correlações são superiores a 0.5. Os índices R10 e R90N apresentam o coeficiente de correlação médio mais alto (superior a 0.8). A média da correlação para os

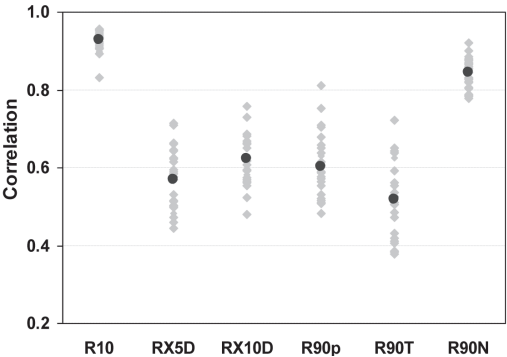


Figura 9
Correlação entre a precipitação total e índices de extremos de precipitação nas 27 estações em Portugal Continental, em 1941-2012.

índices de intensidade (RX5D e RX10D) é, respectivamente, 0.57 e 0.62. O índice R90T é o que apresenta, em média, menor correlação ($r = 0.52$).

5. Conclusões

A ocorrência de fenómenos extremos de natureza meteorológica e climática (cheias, secas, ...) é um facto que, com maior ou menor frequência, afecta Portugal, com incidências socioeconómicas que dependem, em boa medida, do grau de desenvolvimento e da organização das infra-estruturas para minimizar os seus efeitos. Em geral, a intensificação do sinal climático pode ter impacto negativo no solo, recursos hídricos e ecossistemas, e, portanto, na sustentabilidade ambiental e económica local. No período 1941-2012, nas 27 estações estudadas em Portugal Continental, as tendências nos índices de extremos de precipitação apenas são estatisticamente significativas em algumas estações, em especial nas regiões mais vulneráveis, embora as tendências à escala sazonal apresentem sinal estatisticamente significativo num maior número de estações (e.g. LIMA *et al.*, 2013). No entanto, por um lado, o aumento do número de episódios chuvosos e da contribuição de dias chuvosos para a precipitação total anual, em particular nas regiões mais susceptíveis à desertificação e à seca (Nordeste, interior do Alentejo e Algarve), poderão ter implicações importantes e impacto no risco de cheias rápidas e erosão hídrica do solo, resultando no aumento da degradação do solo (nalgumas regiões, um recurso já bastante fragilizado); em particular, espera-se que sejam as pequenas bacias de drenagem as mais afectadas em termos de escoamento superficial. Por outro lado, espera-se que o maior número de episódios de seca tenha também um impacto negativo, especialmente à escala sazonal. Este aumento dos fenómenos extremos deve ser considerado na avaliação e definição de medidas de adaptação e de mitigação dos efeitos de mudança do clima local, e critérios de execução.

Em particular, destacam-se os seguintes resultados:

- precipitação total e os índices de extremos apresentam forte correlação, em particular para os índices R10 e R90N;
- decréscimo na precipitação anual, devido principalmente à diminuição do número de dias com precipitação igual ou superior a 10 mm;
- aumento da contribuição de dias chuvosos acima do percentil 90 para a precipitação anual, principalmente nos últimos 30 anos e nas regiões mais susceptíveis à desertificação e à seca;
- maior número de estações com decréscimo do número de dias consecutivos com precipitação, quando comparado com o número de estações que apresentam aumento do número de dias secos consecutivos;
- diminuição na precipitação máxima acumulada em 5 e 10 dias consecutivos, ainda que nas últimas três décadas, e em particular nas regiões do Centro e Sul, tenham ocorrido os maiores valores destes indicadores.

A análise espacial da relação das tendências dos índices de extremos de precipitação com os factores geográficos (altitude, latitude, longitude), será explorada futuramente com vista à identificação de padrões na sua distribuição. Por outro lado a quantificação da variação espacial da relação entre os vários índices contribuirá também para uma melhor análise e conhecimento dos resultados obtidos.

Bibliografia

- ALMEIDA, A. B. de (2011) - *Gestão da Água - Incertezas e Riscos: Conceptualização operacional*. Coleção: Água, Ciência e Sociedade, Esfera do Caos, 248 p.
- IM (2008) - *Atlas Climático de Portugal Continental 1971-2000*. Instituto de Meteorologia. Lisboa.
- IPCC (2007) - *Climate change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M. e MILLER, H. L. (eds) - Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 996 p.
- HUNTINGTON, T. G. (2006) - "Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis". *Journal of Hydrology*, 319, pp. 83-95.
- KARL, T. R.; NICHOLLS, N. e GREGORY, J. (1997) - "The coming climate". *Scientific American*, May, pp. 54-59.
- LIMA, M. I. P. de; MARQUES, A. C. P.; LIMA, J. L. M. P. de e COELHO M. F. E. S. (2007) - "Precipitation trends in Mainland Portugal in the period 1941-2000". *IAHS publ. no. 310*, pp 94-102.
- LIMA, M. I. P. de; CARVALHO, S. C. P. e LIMA, J. L. M. P. de (2010) - "Investigating annual and monthly trends in precipitation structure: an overview across Portugal". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, pp. 2429-2440. doi:10.5194/nhess-10-2429-2010
- LIMA, M. I. P. de; ESPÍRITO SANTO, F.; RAMOS, A. M. e LIMA, J. L. M. P. de (2013) - "Recent changes in daily precipitation and surface air temperature extremes in mainland Portugal, in the period 1941-2007". *Atmospheric Research*, 27, pp. 195-209, doi:10.1016/j.atmosres.2012.10.001.
- MIRANDA, P. M. A.; VALENTE, M. A.; TOMÉ, A. R.; TRIGO, R.; COELHO, M. F. E. S.; AGUIAR, A. e AZEVEDO, E. B. (2006) - "O Clima de Portugal nos séculos XX e XXI". In: SANTOS, F. D. e MIRANDA, P. (eds) - *Alterações climáticas em Portugal. Cenários Impactos e Medidas de Adaptação*. Projecto SIAM II, Gradiva, pp. 47-113.
- MOBERG, A.; JONES, P. D.; LISTER, D.; WALTHER, A. *et al.* (2006) - "Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901-2000". *Journal of Geophysical Research*, 111(D22106), doi:10.1029/2006JD007103.
- PETERSON, T. C.; FOLLAND, C.; GRUZA, G.; HOGG, W.; MOKSIT, A. e PLUMMER, N. (2001) - *Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, WCDMP-No. 47/WMO-TD No.1071, 146 p.
- REBELO, F. (2003) - *Riscos Naturais e Acção Antrópica, Estudos e Reflexões*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 274 p.
- WANG, X. L. (2008a) - "Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, pp. 2423-2444, doi: 10.1175/2008JAMC1741.1.
- WANG, X. L. (2008b) - "Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change". *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 25(3), pp. 368-384, doi: 10.1175/2007/JTECHA982.1
- WANG, X. L. e FENG, Y. (2010) - *RHtestsV3 User Manual*. Climate Research Division, Science and Technology Branch, Environment Canada, 27 p. http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/RHtest/RHtestsV3_UserManual.doc
- WANG, X. L.; WEN, Q. H. e WU, Y. (2007) - "Penalized Maximal t-test for detecting undocumented mean change in climate data series". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(6), pp. 916-931, doi: 10.1175/JAM2504.1

Risco em ambiente semiárido: uma revisão da recorrência da seca no Nordeste do Brasil

Maria Francisca de Jesus Lírio Ramalho

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

franci@ufrnet.br

Resumo:

O nordeste do Brasil, apesar da política de combate à seca iniciada no Governo Imperial - revelada, porém, ao longo dos anos, incipiente em seu propósito - ainda convive duramente com o problema no século XXI. Desconhece-se, todavia, até quando o fenômeno, mesmo sendo natural do clima semiárido, vai continuar causando risco à população, embora se saiba que, para uma solução, o problema tem que ser enfrentado competentemente. Este trabalho apresenta uma caracterização da fragilidade ambiental da região em foco, com base na análise documental, visando a compreender a história da seca na área de risco - história esta que revela a importância da valorização das estratégias de combate, as quais, até então, não têm sido adequadas à prevenção e à proteção ambiental.

Palavras-chave: Clima semi-árido. Risco de seca. Fragilidade ambiental. Desertificação.

Abstract:

The political actions to diminish the impact of drought in Northeastern Brazil, applied during Imperial period, proved discontinuous and unstable. That is why the region still suffers with that problem in this new century, and nobody can risk foreseeing the day when this occasional phenomenon will cease to be. One knows, however, that it requires a lot of know-how. This paper displays a characterization of the environmental frailty of the Northeastern region; it is based on a documental analysis and aims at describing a history of drought in the area of risk. This description highlights the importance of valuing the fighting strategies which, unfortunately, until now have not succeeded in preventing and protecting the environment.

Keywords: Semi-arid climate. Risk of drought. Environmental frailty. Desertification.

Introdução

Considerando o conceito de risco, o qual se refere às consequências que os fenômenos naturais ou induzidos pela ação do homem causam às pessoas e bens, convém incluir aqui, em tal âmbito, as secas recorrentes do Nordeste Brasileiro. Os elementos naturais são os mais diretamente determinantes do evento da seca, dos quais destaca-se a vulnerabilidade de um ambiente semiárido, onde o homem nordestino convive com as agruras da falta de chuva, sobrevivendo há séculos, notadamente, pela obstinação.

A associação feita aos elementos físicos para a ocorrência de tal evento ajuda a entender que o meio biofísico que caracteriza a paisagem do lugar, onde os solos rasos e pedregosos cobertos por vegetação de caatinga - espécie de mata seca adaptada às condições do ambiente - desafiam a natureza humana, inegavelmente constitui fator a ser devidamente conhecido em suas peculiaridades. A solução para se mitigar o problema é, porém, ainda um grande desafio para os órgãos gestores das calamidades públicas. O retardo às tomadas de decisão, a limitação de recursos, bem como a lenta execução das obras projetadas, colaboram para aumentar cada vez mais o tributo da população que sofre com a falta de água e de alimentos, além da morte de animais, dizimados pela falta de pasto e pela sede.

Um pouco diferente do que era antes da construção de açudes, ferrovias e estradas, é certo que não se ouve mais falar sobre a morte em massa de pessoas flageladas por causa da seca, mas a devastação das culturas e a morte de animais, ao lado da manifestação de doenças causadas principalmente pela ingestão da água de má qualidade, constituem ainda uma perversa realidade.

Acreditando que a seca no nordeste do Brasil tem uma conotação muito mais ampla do que é noticiado pelos jornais e o que as redes de comunicação divulgam, chamamos a atenção para a questão seguinte: Se há viabilidade de uso de água e de solo no semiárido por que ainda há risco de seca no nordeste?

Olhando mais atentamente para esse evento da seca, já tido como quase permanente, insistimos nesta abordagem em voltar a nossa atenção para o seguinte aspecto da questão: a influência dos fatores naturais e antrópicos na ocorrência desse sinistro. A metodologia adotada parte de um levantamento bibliográfico sobre a história da seca no nordeste do Brasil, com o intuito de tratar do assunto que caracteriza o homem no semiárido e a política de base do Governo Brasileiro.

Caracterização geográfica da região

A Região Nordeste do Brasil, na sua dimensão espacial, compreende uma área em torno de 877.565.831 dos 969.589,4 km² do Polígono da Seca. Este, definido pela Lei 175, de 5 de janeiro de 1936, foi demarcado como base para uma política de combate a fim de neutralizar os efeitos das estiagens que afetam essa área do Nordeste e a área de 102.567,248 km² da Região Sudeste (Figura 1).

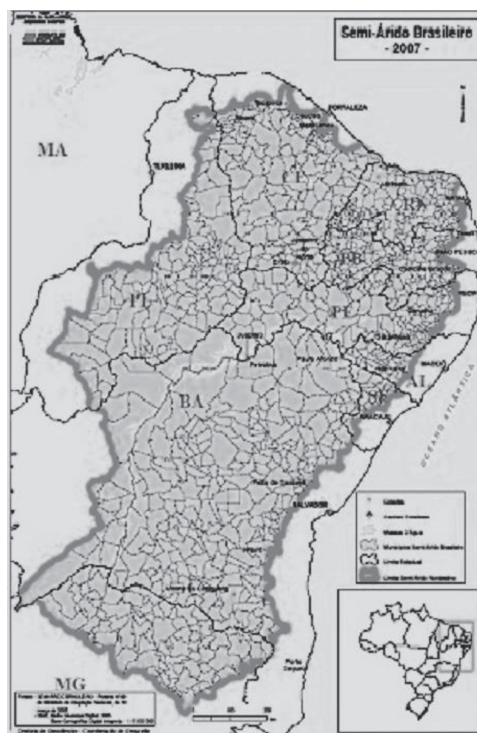


Figura 1
Mapa do semiárido brasileiro.
Fonte: Adaptado do IBGE, 2007.

Os condicionantes do meio biofísico

Na área seca do Nordeste, predomina o clima semiárido quente e seco do tipo BSh, da Classificação de KÖPPEN (1948). Segundo AB'SABER (1974), as chuvas são irregulares e escassas, com médias pluviométricas que oscilam entre 300 e 800 mm anuais, e as temperaturas, relativamente elevadas, com médias térmicas anuais geralmente superiores a 26 °C. A insolação média anual é em torno de 2.800 horas, com taxas médias de evaporação de 2.000 mm/ano, e a umidade relativa do ar, em geral, é de aproximadamente 50%. Nas serras, em função da altitude, as condições microclimáticas se apresentam com menores temperaturas, com médias anuais em torno de 22°C e 23°C e maiores umidades, sendo exemplos os brejos de enclaves (AB'SABER, 1974).

De acordo com alguns autores ALMEIDA (1967); BRITO NEVES (1973), as estruturas geológicas que caracterizam a região se associam aos eventos tectônicos ocorridos em diferentes ciclos que remontam do Pré-Cambriano ao Mesozoico (Jurássico-Cretáceo). Esses eventos definiram os grandes alinhamentos estruturais e deram origem a arqueamentos, falhamentos, intrusões graníticas e o desnivelamento dos bordos das bacias sedimentares.

Geomorfologicamente, segundo vários autores KING (1956); MABESOONE e CASTRO (1975); AB'SABER, (1970), as características litoestruturais e climáticas condicionam a formação de escarpas, maciços,

superfícies elevadas, chapadas e depressões modeladas em extensos pediplanos, caracterizando feições do relevo no domínio das rochas cristalinas e sedimentares (Figura 2). Contrastando com os blocos dos maciços modelados com serras e *inselbergs*, segundo AB'SABER (2003), encontram-se as depressões intermontanas e interplanálticas originadas da desnudação marginal

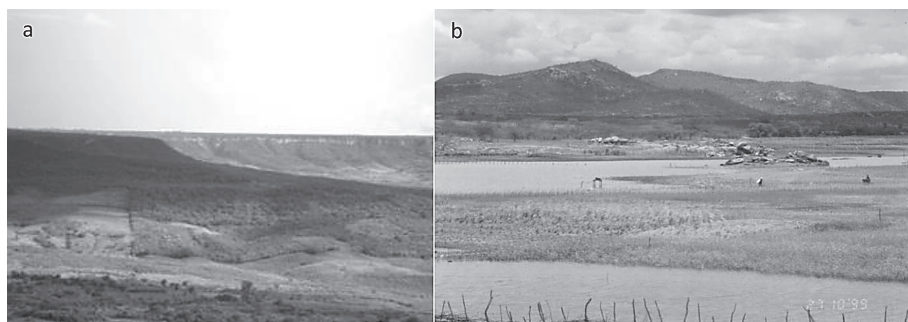


Figura 2

Formas de relevo. (a) Domínio das rochas sedimentares; (b) Domínio das rochas cristalinas.

Fotos da Autora.

O bioma da Caatinga, considerado como próprio da região, se constitui de uma variedade de espécies vegetais adaptadas ao meio seco. Compreende dois tipos: a Caatinga Hiperxerófila e a Hipoxerófila; a primeira se destaca pelo menor porte e densidade em relação à segunda, de caráter xerófilo menos acentuado. O aspecto da vegetação, com característica caducifólia, se apresenta cheio de galhos e espinhos, destacando-se em algumas áreas as cactáceas e bromélias, que sugerem um ambiente hostil de difícil penetração (Figura 3). Na feição típica, também se encontra um estrato herbáceo entre os arbustos; e, no meio das espécies vegetais, além das cactáceas, encontram-se as que possuem raízes ou caules subterrâneos que acumulam substâncias nutritivas para as plantas (SANTOS, 2009: 19).



Figura 3

Visão parcial da vegetação de Caatinga.

Foto da autora.

O planejamento e a gestão da situação da seca

A história da seca no nordeste do Brasil, que remonta aos séculos passados, é conhecida pelos relatos encontrados geralmente em crônicas e memórias paroquiais, que, como afirma ALMEIDA (1994: 44), representam uma contribuição restrita ou de simples valor histórico. As poucas fontes de informação referentes ao período da colonização do Brasil dão notícia de secas recorrentes desde o século XVI, nos anos de 1559, 1564 e 1592. Na sequência dos fatos, atentamos para uma retrospectiva na história das intenções da política de combate às secas no Nordeste, que se inicia ainda no Brasil Império.

No Império, conforme AGUIAR (1983), o tema da seca esteve no centro das discussões do Imperador D. Pedro II, que, impressionado com o flagelo das de 1877 a 1879, teria dito: “Venderei o último brilhante de minha coroa antes que algum cearense morra de fome”. Atentos a esse fato, observamos que o Ceará representa um dos estados do Nordeste Brasileiro com marcas cruciais nessa história, além dos estados da Paraíba, do Rio Grande do Norte, de Pernambuco e da Bahia.

Ainda no Governo Imperial, de acordo com o mesmo autor, é criada uma Comissão da Seca para investigar o problema, a qual, no Relatório apresentado em 1878, recomenda a construção de 30 açudes, tendo cada um deles capacidade mínima de um milhão de metros cúbicos; o fornecimento gratuito de planta para a construção de açudes particulares; e a construção de três estradas de ferro no estado do Ceará.

Segundo o mesmo autor, no período, o Governo Imperial muito se empenhou para atender à população vitimada pela seca, embora, cessada a estiagem, “o problema é relegado ao esquecimento até a seca de 1888, que acontece às vésperas da proclamação da república do Brasil”.

Iniciado o Governo Republicano, o problema não é colocado na esfera federal e a solução se restringe aos socorros às vítimas. Só em 1901, a seca passa a ser vista não como uma fatalidade, mas como um fenômeno natural a ser corrigido, embora não se executem previamente ao período crítico planos com programas antecipados (AGUIAR, 1983).

Na sequência dos eventos e de nova gestão, como no Governo do Presidente Rodrigues Alves, em 1901, criam-se as comissões de açudes e irrigação, de obras contra os efeitos da seca, de perfuração de poços, além da Superintendência de Estudos e Obras Contra os Efeitos das Secas, com sede em Fortaleza, sendo esta última extinta no governo seguinte, passando o problema a ser acompanhado com menos eficiência.

Em 1909, no Governo do Presidente Nilo Peçanha, é criada a Inspetoria de Obras Contra as Secas - IOCS, que posteriormente, em 1919, tornou-se a Inspetoria Federal de Obras Contra a Seca (IFOCS), sendo, em 1945, transformada em DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Os decretos presidenciais sucessórios, inclusive os do Presidente nordestino Epitácio Pessoa, empossado em 1919, muito favoreceram o Nordeste no quadriênio de seu governo, prevendo construções de açudes e barragens, perfurações de poços artesianos, instalação de postos pluviométricos e fluviométricos, a abertura de crédito, entre outras medidas necessárias nessa linha de gestão.

Em um outro plano de ação, consubstancia-se em 1959 a criação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - Sudene, que sugere empreendimentos e trabalhos por diferentes setores articulados às diretrizes de Planos Diretores de Desenvolvimento para aquela Região.

Na qualidade de Órgão Regional Revisor, a Sudene constituía a base para a redenção do Nordeste, com o apoio do Banco do Nordeste e do Fundo de Investimento - FINOR, que, conforme AGUIAR (1985), teria tido uma ação mais positiva, no tocante aos projetos de desenvolvimento da Região, se não fora o desvio de recursos destinados ao Nordeste, por meio daquela Superintendência, para hotelaria, pesca e outras atividades de menor relevância.

Outros programas e projetos de desenvolvimento foram sucessivamente implantados, como o Proterra, o Provale, o Codesvale, o Polo Nordeste, o Projeto Sertanejo, entre outros voltados para a região semiárida, os quais, apesar dos impulsos para o incremento das ações, não lograram, todavia, o êxito esperado.

Extinta a Sudene em 2001 e com a nova delimitação da área geográfica do semiárido, o Ministério da Integração Nacional - MI - assume em 2005 o compromisso do desenvolvimento da Região, prevendo ativar o crescimento econômico, no sentido de diminuir também as desigualdades inter-regionais (LINS, 2008).

Atualmente, com o início das obras da transposição do Rio São Francisco, iniciadas na administração de outro presidente nordestino e conhecedor do drama da seca, Luís Inácio Lula da Silva, o Nordeste espera pelo benefício desse grande empreendimento idealizado ainda no Império. E, assim, na história de mais de um século onde se evidencia a seca, ainda se observam os impactos do seu retorno, sendo exemplo a seca de 2013.

O espaço geográfico e a ocupação humana

O Nordeste, em sua extensão territorial, se coloca como a terceira Região do Brasil, com 56,5% de seu território no polígono da seca. Entre as cinco Unidades da Federação, se apresenta como a segunda de maior população, da qual 40,2% ocupam o semiárido (Quadros I e II). Dos nove estados que compreendem sua área, somente o Maranhão não tem parte na linha do Polígono da Seca. Os estados do Rio Grande do Norte (com 93,4%), Pernambuco (com 88%), Ceará (com 86,8%) e Paraíba (com 86,6%) são os que apresentam as maiores áreas inseridas no semiárido, sendo secundados pelos estados da Bahia (com 69,7%), do Piauí (com 59,9%) e de Sergipe (com 50,9%), enquanto o estado de Alagoas (com 45,6%) é o único que se apresenta com menos de 50% de sua área inserida no semiárido (Quadro II).

Quadro I

Comparando a ordem de grandeza e o tamanho das Unidades da Federação no Brasil.

Ordem	Regiões/ Brasil	Área (Km ²)	População			
			Total	%	Semiárido	%
1ª	Norte	3.853.575,624	15.864.454	8,3	-	-
2ª	Centro Oeste	1.606.366,787	14.058.094	7,4	-	-
3ª	Nordeste	1.554.387,725	53.081.950	27,8	21.365.929	40,2
4ª	Sudeste	924.596,056	80.364.410	42,1	1.232.389	1,5
5ª	Sul	563.802.077	27.386.891	14,4	-	-
	Brasil	8.515.767.049	190.755.799	-	22.598.318	11,8

Fonte: Adaptado de MEDEIROS *et al.* (2012).

Quadro II

Comparando a área dos Estados do Nordeste à porção semiárida.

Estados do polígono da seca/Nordeste	Área - Km ²		Participação %
	Estado	Semiárido	
Piauí	251.576,644	149.463,382	59,4
Ceará	148.920,538	129.178,779	86,7
Rio G. Norte	52.810,699	49.097,482	93,0
Paraíba	56.469,466	48.676,947	86,2
Pernambuco	98.146,315	85.979,387	87,6
Alagoas	27.779,343	12.579,185	45,3
Sergipe	21.918,354	11.105,591	50,1
Bahia	564.830,859	393.056,1	69,3
Nordeste	1.554.387,725	877.565,831	56,5

Fonte: Adaptado de MEDEIROS, *et al.* (2012).

Na área semiárida, conforme os dados do QUADRO III, observa-se que o estado do Piauí concentra 1.045.547 da população que habita no semiárido nordestino, sendo que 524.934 desse total estão na zona rural. No entanto, em outros estados, como Sergipe, Alagoas, Bahia e Pernambuco, mesmo com uma maior população urbana na zona semiárida, a população rural também é bem significativa. A Paraíba, o Rio Grande do Norte e o Ceará, por sua vez, apresentam um diferencial neste particular, pois sua população urbana é muito maior que a rural.

Quadro III

A População dos estados do Nordeste e a distribuição no semiárido nos setores rural e urbano.

Estado	População			
	Total/Estado	Urbana *NSA	Rural NSA	Total semiárido
Piauí	3.118.360	520.613	524.934	1.045.547
Ceará	8.452.381	3.018.886	1.705.819	4.724.705
Rio G. Norte	3.168.027	1.211.672	553.063	1.764.735
Paraíba	3.766.528	1.418.612	673.788	2.092.400
Pernambuco	8.796.448	2.376.320	1.279.502	3.655.822
Alagoas	3.120.494	503.589	396.960	900.549
Sergipe	2.068.017	250.082	191.392	441.474
Bahia	14.016.906	3.978.096	2.762.601	6.740.697
Nordeste	53.081.950	13.277.870	8.088.059	21.365.929

Fonte: Adpatado de MEDEIROS, *et al.* (2012).

*NSA - Nordeste Semiárido

Com este contingente populacional ocupando atualmente diferentes espaços geográficos do semiárido, como pediplanos, serras, chapadas e vales, observamos que a dimensão espacial da região ajusta-se até certo ponto aos locais escolhidos para habitação, como se imagina terem sido as áreas preferidas dos nativos, que, subdivididos em muitas tribos, resistiram para entregar suas terras ao Europeu. De acordo com ALMEIDA (1994), na época da chegada dos colonizadores, existia uma densa população aborígine. Só no território paraibano, conforme o cálculo de Irineu Joffily, citado por ALMEIDA (1994), essa população não seria inferior a cinquenta mil habitantes, no fim do século XVI.

Na escala temporal da seca, o elemento indígena, na sua condição primitiva, ocupava os locais que permitiam melhores condições de sobrevivência, parecendo conciliar-se bem com o ambiente semiárido. Com a entrada da pecuária para o sertão, no período da colonização, justifica-se a grande extensão de terra ocupada que gerou a estrutura fundiária, com a posse das sesmarias e, posteriormente, com as fazendas de gado.

No contexto da generalidade, a nova prática econômica na região não se ajusta com a vulnerabilidade do ambiente, que, apesar de suas potencialidades, tem a água como fator limitante. A oposição acirrada à ocupação por parte dos aborígenes não fez recuar o colonizador junto com o gado trazido por Tomé de Souza que se embrenharam para o interior. A necessidade de domínio e de poder desestrutura o espaço vivenciado pelos nativos, divergindo da sustentabilidade ecológica de sobrevivência. Pelos relatos históricos, acreditamos que os nativos ocupavam nascentes, topos de serra e ribeiras, e que certamente tinham suas defesas para fugir da seca em direção ao litoral. E, pela quantidade das tribos que habitavam a região, talvez a seca não fizesse vítima ao habitante nato e conhecedor da natureza, como faz aos homens que continuam ocupando as terras desbravadas.

As consequências do risco da seca

As pesquisas meteorológicas têm demonstrado que a posição geográfica do Nordeste favorece a ocorrência de seca, quase sempre associada com o fenômeno do *El Niño*. Mas, o impacto das leis naturais que atuam no mecanismo dos sistemas meteorológicos não tem sido previamente encarado na proporção do fenômeno da seca recorrente.

Com o conhecimento dos fatores climáticos que caracterizam a semiaridez, não surpreendem as consequências que a seca causa na região, mas sim as imprevidências governamentais com o problema que afeta quase 12% da população do País. Apesar de naturalmente acontecer o fenômeno em um local que se tornou habitado, onde parte de sua população sobrevive da economia rural, as estiagens e os impactos causados por elas nas áreas afetadas, além de colocarem como refém os indivíduos que trabalham na terra, também os submetem à diversidade de risco que há séculos têm causado muito desconforto, por causa do flagelo da fome, da pobreza e das epidemias, que, assim como a fome e a sede, dizimaram muita gente.

No passado, sem a estrutura das ferrovias e rodovias e do sistema de abastecimento de água dos carros-pipas, os açudes secavam, morriam os peixes, o gado e o homem. O risco da seca e o seu efeito eram diretamente proporcionais à vulnerabilidade do ambiente e à resistência do homem, que, mesmo tendo que se ausentar para não morrer de fome e de sede, seguia por trilhas e atalhos, enfrentando perigos e se arriscando em busca de outros meios que lhe permitissem escapar da tragédia. ALMEIDA (1994), fala da seca e dos sofrimentos causados por esta, quando muitos nordestinos morriam de fome, de sede e de epidemias provocadas pelas deficiências sanitárias e pobreza extrema.

Relatos encontrados no *Livro memorial da seca* (1981) informam sobre o registro de crônicas e memórias referentes à seca no nordeste do Brasil, datados de quando o País passou a ser conquistado pelo homem europeu. Os dados históricos informam sobre os diferentes anos e tempo de duração das secas na ordem cronológica referentes aos séculos XVI, XVII, XVIII, XIX

e XX, fazendo alusão aos estragos causados por elas em diferentes estados da Região Nordeste. O relato das grandes calamidades inclui mais os estados do Ceará, do Rio Grande do Norte e da Paraíba, que, conforme tem sido constatado, são os mais afetados com o flagelo climático, haja vista que só estado do Rio Grande do Norte tem mais de 90% de seu território sob risco de seca.

O caso das pestes que colocaram em risco a saúde e a vida das pessoas, referentemente à seca de 1794, também é mencionado, como o gafanhoto, as cobras do tipo *cascavel* e os ratos, assombrando e molestando os sobreviventes. No mesmo livro, há informações sobre uma antiga memória do padre Joaquim José Pereira, que comenta sobre os morcegos que sugavam criações inanidas de fome, em Apodi, na seca de 1794.

A seca de 1777, que os antigos chamaram de *seca dos três setes*, foi uma das maiores na história dos riscos enfrentados pelos nordestinos. Os relatos históricos informam que, em Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte, uma multidão de maltrapilhos e famintos esmolava pelas ruas para sobreviver, além dos que foram vitimados com trágicos e funestos óbitos.

A seca de 1877, cem anos depois, sem contar com as intercaladas nesse período, foi também uma das mais severas que dizimou muita gente e muito gado. Conforme ALMEIDA (1994), além de ter sido a mais longa do século XIX, foi exterminadora pela falta de socorro.

A emigração espontânea dos nordestinos pelo incentivo do Governo para povoar outras terras, como a do norte na Região Amazônica, também tem registrados relatos da memória da seca que trouxe riscos de lepra, malária e beri-beri, que eram enfrentados no trabalho dos seringais. Neste sentido, a trajetória dos nordestinos descreve diversos e diferentes caminhos que passam por constantes fluxos associados aos deslocamentos forçados pela imprevisibilidade da seca.

Com efeito, muitos têm recorrido à emigração para o sudeste do País em busca de áreas mais favorecidas de recursos e de trabalho. O êxodo rural leva o nordestino a se aglomerar em periferias das cidades grandes, geralmente em áreas impróprias para a ocupação. A vulnerabilidade social o expõe a discriminação, desemprego, marginalidade e toda sorte de dificuldades que o indivíduo enfrenta fora de sua terra.

Hoje, nas situações extremas de seca, secam-se os açudes, morrem as culturas e os peixes são às vezes pescados na lama dos açudes em processo de secamento. Nessas condições, com a diminuição do abastecimento da água, a agricultura de subsistência torna-se impraticável, o que denota a destruturação na economia da população de menor recurso, tendo em vista que essa agricultura representa o meio de trabalho e de sustento dos pequenos produtores rurais. A contaminação da água e seus efeitos colaterais com as doenças gastrointestinais e as infectocontagiosas, entre outras de maiores desconfortos ao organismo humano, ainda causa vítimas, sobretudo no período da seca.

Riscos à desertificação

Nas condições das secas recorrentes, também aumenta o risco da desertificação que, na escala temporal, a médio e longo prazo, tem o reflexo do homem convivendo com o ambiente frágil. AB'SABER (1977) levanta em seu trabalho a questão da vulnerabilidade da região semiárida brasileira a tal fenômeno - assunto que bem enfatiza VASCONCELOS SOBRINHO (1982), quando analisa

as causas desse processo com referência à tendência ecológica da vegetação dessa mesma região, onde o domínio fitogeográfico das Estepe (Caatinga) e Savanas reflete as condições do clima. O processo de desertificação tem sido identificado em muitas áreas do semiárido, sendo exemplos os núcleos localizados em Gilbués, no estado do Piauí, Cabrobó, no estado de Pernambuco, Irauçuba, no do Ceará, e na região do Seridó, no estado do Rio Grande do Norte.

O problema tem sido atribuído a uma série de causas, que, além da climática, tem o homem explorando a Caatinga com a consequente perda da flora e da fauna (CONTI, 1997; SÁ *et al.*, 2010). A alternância de períodos de seca com outros com chuvas torrenciais, o desmatamento, as queimadas, a mineração, a pecuária extensiva e o aumento da população e das áreas de cultivos na terra seca, entre outras atividades do homem que habita o semiárido, contribuem para acentuar o problema.

O desflorestamento no entorno das nascentes e topos de serras, o extrativismo da madeira, ainda muito utilizada como combustível e para a produção de carvão, deixam descoberto o solo frágil, arenoso e pedregoso, sujeito à erosão no período das chuvas. Neste sentido, a agricultura, com o uso e manejo inadequado do solo, tende a esgotar os recursos naturais da terra, e a secura que desnuda o campo dificulta o restabelecimento das áreas depauperadas. No período de seca, com o aumento da temperatura e da insolação, os pontos vulneráveis à desertificação, ficam mais frágeis. O mesmo se dá no período das chuvas, com a concentração das águas que causa o escoamento em lençol que, de forma agressiva, arrasta grande aporte de materiais e nutrientes do solo, fazendo com que a erosão e a salinização dos solos causem progressivamente a degradação ambiental do semiárido.

Considerações finais

Do exposto, consideramos que, apesar de toda a política de combate realizada no curso de mais de um século, não se sabe até quando a população do semiárido terá que conviver com os riscos da seca. O problema sempre tem sido adiado com as ações de políticas que não atingem a essência do principal objetivo: o de combater os efeitos causados pelo fenômeno da seca na Região. A transferência dessas ações entre gestões governamentais e sem o cumprimento efetivo de uma política tributária e de gestão sistemática, entre outras pendências, tem adiado as providências técnicas e administrativas das ações de planejamento para mitigar o problema.

Na escala regional, não se pode negar que, entre impulsos e imprevidências da gestão política ao longo de todo o século XX, obtiveram-se bons resultados para o desenvolvimento social, político e econômico da Região. No entanto, na escala local, onde a seca tem seus maiores efeitos, há, na escala pontual, uma grande defasagem no âmbito desta questão: a complexidade entre os valores intrínsecos arraigados na tradição nordestina, sobretudo com a posse da terra, e as distorções socioeconômicas que distinguem o nordestino que se beneficia com a seca e o outro que perde muito mais do que ganha do Governo. Este último representa o povo de um outro Nordeste: o Nordeste Subdesenvolvido, da mão-de-obra barata e redimido, que tem ficado na pobreza, enquanto as obras inacabadas impedem que os objetivos previstos sejam alcançados.

Neste sentido, chega-se à conclusão de que, apesar de todos os programas setoriais, de caráter assistencial, hidrológico e de infraestrutura de combate à seca, este objetivo maior

jamais será atingido sem um planejamento adequado com base na prevenção e tributação exclusiva, envolvendo políticas públicas e de educação ambiental, esta tão necessária, sobretudo para o homem que cultiva a terra.

Na visão dos fatos, com essa população convivendo com os riscos da seca, é lamentável que o nordestino do “Nordeste da pobreza” continue ainda refém de um problema que tem tido solução em outros lugares mais secos do Mundo.

Não se justifica que outras questões, julgadas mais rentáveis ao regionalismo nacional, sejam consideradas prioritárias, em detrimento dessa luta de combate à seca adiada desde a época do Império. Acreditamos que, enquanto esse modelo de combate à seca não prosseguir à frente das limitações políticas, sociais, econômicas e culturais o resultado vai sempre distanciar o planejamento dos objetivos, além de continuar favorecendo a classe dominante capaz de gerir e decidir as condições da riqueza e da pobreza. Portanto, sem o caráter político, manifestado com boas intenções, todos os novos planos correm o mesmo risco da insuficiência de verbas e das mudanças de prazo a que se destinam as obras que procuram combater os riscos da seca no nordeste do Brasil.

Referências bibliográficas

- AB'SABER, Aziz Nacib (1970) - “Províncias geológicas e domínio morfoclimáticos do Brasil”. *Geomorfologia*, São Paulo, n.º 20, 26 p.
- AB'SABER, Aziz Nacib (1974) - “O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileira”. *Geomorfologia*, São Paulo, n.º 43, pp. 1-3.
- AB'SABER, Aziz Nacib (1977) - “A problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical”. São Paulo, *Geomorfologia*, n.º 53, pp. 1-20.
- AB'SABER, Aziz Nacib (2003) - *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. Ateliê Editorial, São Paulo.
- AGUIAR, Pinto de (1983) - *Nordeste - O drama das secas*. Civilização Brasileira, Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, Fernando Flávio M. de (1967) - “Origem e evolução da plataforma brasileira”. *Boletim do DNPM-DGM*, Rio de Janeiro, n.º 241, pp. 1-36.
- ALMEIDA, José Américo de (1994) - *A Paraíba e seus problemas*. Senado Federal/Fundação Casa de José Américo, Brasília.
- ALVES, José Jakson Amancio (2007) - “Geoecologia da caatinga no semiárido brasileiro”. *Revista de climatologia e estudos da paisagem*, Rio Claro, vol. 2, n.º 1, pp. 58- 71.
- BRITO NEVES, Benjamin Bley de (1973) - “Elementos da geologia pré-cambriana do Nordeste Oriental”. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*. SBG, Aracaju, vol. 2, n.º 27, pp. 105-133.
- CONTI, José Bueno (1997) - As conseqüências de uma relação conflituosa homem x meio: desmatamento e desertificação. In: *A Geografia Física e as relações sociedade/natureza no mundo tropical*. São Paulo, USP, pp. 19-22.
- KING, Lester (1956) - “A geomorfologia do Brasil oriental”. *Revista Brasileira de Geografia*, vol. 18, n.º 2, Rio de Janeiro, pp. 147-263.
- KÖPPEN, Wladimir (1948) - *Climatologia*. México, Fundo de Cultura Econômica.
- LINS, Carlos José Caldas (2008) - *Nova delimitação do semi-árido do Brasil*. Ministério da Integração, Recife.

- MABESONE, J. M. e CASTRO, C. de. (1975) - "Desenvolvimento geomorfológico do nordeste brasileiro". *Boletim do Núcleo do Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia*, n.º 3, Recife, pp. 5 -36.
- Memorial da Seca* (1981) - Fundação Guimarãs Duque. VINGT - UN ROSADO (Org.) Coleção Mosoroense, Vol. CLXIII, Mossoró.
- SÁ, Iedo Bezerra *et al.* (2010) - *Desertificação no semiárido brasileiro*. Fortaleza, ICID, 18, pp. 16-20. Disponível em: <WWW.icid18.org/files/articles/662/1278970091.pdf> Acesso: 17 de maio. 2013.
- SANTOS, Juvandi de Sousa (2009) - *Ocupação humana, caatinga, paleoambientes e mudanças ambientais nos setores nordestinos*. JRC Gráfica, João Pessoa.
- VASCONCELOS SOBRINHO, J. - *Processos de desertificação ocorrente no Nordeste do Brasil; sua gênese e sua contenção*. SUDENE, Recife, 1982.
- MEDEIROS, Salomão de Sousa *et al.* (1912) - *Sinopse do Censo Demográfico para o semiárido*. INSA, Campina Grande. Disponível em: <WWW.isa.gov.br/censosab/publicação/sinopse.pdf> Acesso em: 25 de maio de 2013.
- MAPA (2007) - *Semiárido brasileiro*. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível:<[ftp://geoftp.ibge.gov.br/organização-territorial/semi_arido_brasileiro.pdf](http://geoftp.ibge.gov.br/organização-territorial/semi_arido_brasileiro.pdf)> cesso: 22 maio de 2013.

A espacialização dos azards climáticos no urbano do prelúdio do pantanal sul-mato-grossense - Brasil

Vicentina Socorro da Anunciação

Geografia, UFMS/CPAQ
vique56@hotmail.com

Jaime Ferreira da Silva

Geografia UFMS/CPAQ
jaimeferreirageo@bol.com.br

Elvira Fátima de Lima Fernandes

Geografia UFMS/CPAQ
coronelevira@ig.com.br

Resumo:

O canal fluvial do rio Aquidauana comanda uma bacia hidrográfica de significativa importância no contexto da sub-bacia do rio Miranda, tributário do rio Paraguai no Mato Grosso do Sul. Seu alto curso é alimentado por diversos tributários desde os chapadões de São Gabriel do Oeste, centro norte de Mato Grosso do Sul, e em direção a terras dos municípios de Corguinho, Rochedo, Terenos e Dois Irmãos do Buriti. Aproximadamente, a jusante da cidade Aquidauana, inicia-se um comportamento típico de planície, enveredando-se pelo seu baixo curso dentro das terras dos municípios de Aquidauana, Anastácio e Miranda, quando então transfere suas águas para o canal do rio Miranda, porém a repercussão dos eventos climáticos extremos materializam-se, com maior intensidade, na cidade de Aquidauana-MS. Banhada pelo rio de mesmo nome, deu início ao seu processo de desenvolvimento urbano às suas margens, ocupadas até os dias atuais por parte da população. A expansão territorial urbana provocou significativas modificações na paisagem natural evidenciando muitos problemas socioambientais na atualidade, como as enchentes e inundações. Foram realizados trabalhos cartográficos, levantamento de dados e análise dos elementos climáticos na área de estudo, além de visitas a campo nos locais sujeitos a inundações durante o período chuvoso. Os resultados desta pesquisa apontam que o aumento das inundações está relacionado ao processo de urbanização aliado à ineficácia do planejamento urbano, a impermeabilizações do solo, o sistema de drenagem deficitário, a ocupação desordenada das margens do rio e o aumento do nível do rio Aquidauana desencadeado pelas chuvas sazonais.

Palavras chave: Inundação. Risco ambiental. Precipitação. Planejamento. Urbanização.

Abstrat:

The spatial distribution of azards climate in urban of prelude of Pantanal South -Mato-Grossense - Brazil

The river channel of the Aquidauna river commands a catchment of significant importance in the context of sub-basin of the Miranda river, a tributary of the Paraguay River

in Mato Grosso do Sul . Its upper course is fed by several tributaries from the plains of São Gabriel do Oeste center- north of Mato Grosso do Sul and into the lands of the municipalities of Corguinho, Rochedo, Terenos and Dois Irmãos do Buriti. Approximately downstream Aquidauna, began a typical behavior of plain, embarking by its lower course within the grounds of the municipalities of Aquidauna, Anastacio and Miranda, when then transfers its waters to the river channel Miranda, but the impact of extreme weather events materialize, with greater intensity, in the city of Aquidauna-MS. Bathed by the river of the same name, began its process of urban development along its banks, occupied to the present day by the population. The urban territorial expansion led to significant changes in the natural landscape showing many environmental problems today, such as floods and floods. Cartographic works were performed, data collection and analysis of climatic elements in the study area, as well as field visits in places subject to flooding during the rainy season. These results indicate that the increased flooding is related to the process of urbanization coupled with the ineffectiveness of urban planning, the waterproofing of the soil, the drainage system deficit, disorderly occupation of the river and the river level rise triggered by Aquidauna seasonal rains.

Key words: Flooding. Environmental risk. Rainfall. Planning. Urbanization.

Introdução

A bacia do rio Aquidauana de acordo com HUCDB (2004), abrange uma área de 21.000Km² e envolve 13 municípios no Estado de Mato Grosso do Sul. O alto curso é alimentado por diversos tributários desde os chapadões de São Gabriel do Oeste, centro norte de Mato Grosso do Sul, e em direção a terras dos municípios de Corguinho, Rochedo, Terenos e Dois Irmãos do Buriti. Aproximadamente, a jusante da sede do município de Aquidauana inicia-se um comportamento típico de planície, enveredando-se pelo seu baixo curso dentro das terras dos municípios de Aquidauana, Anastácio e Miranda quando, então, transfere suas águas para o canal do rio Miranda, conforme Figura 1.

O espaço delimitado pode ser considerado polo de desenvolvimento, constituindo-se em importante segmento do poder público e gestão ambiental e de recursos hídricos numa unidade de planejamento. Destaca-se no contexto nacional e no Estado de Mato Grosso do Sul por apresentar três importantes unidades fisiográficas: o Planalto Maracaju-Campo Grande, a Depressão Pantaneira e a Planície do Pantanal Sul-Mato-Grossense, abrangendo parte dos biomas Cerrado e Pantanal.

Pode-se inferir que nos últimos 40 anos, tais municípios vêm passando por um processo de transformação articulado com o momento histórico do modo de produção capitalista a nível

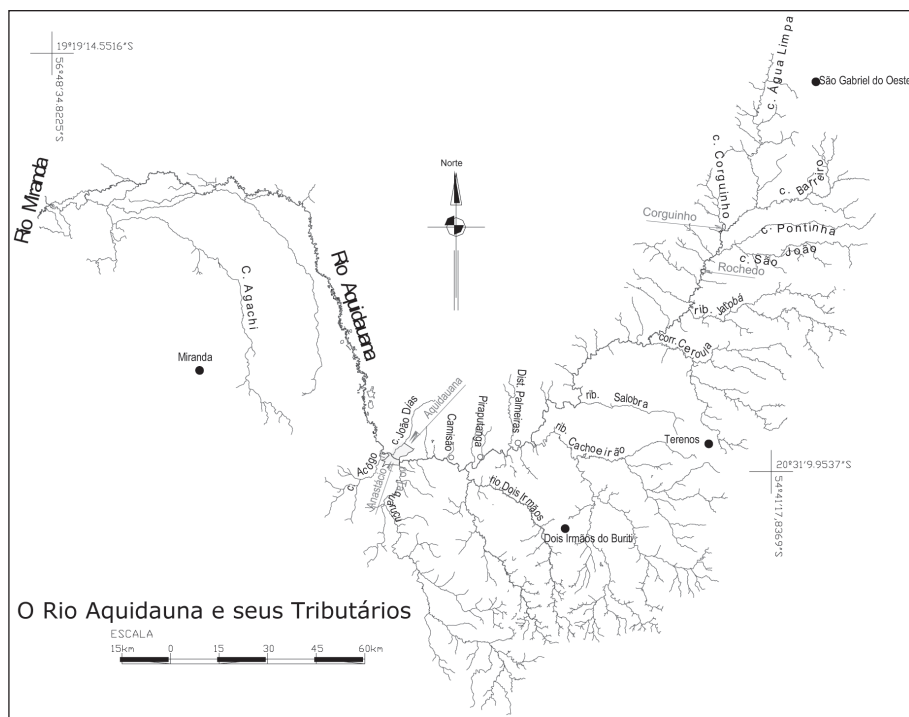


Figura 1

Rio Aquidauana desaguando no rio Miranda

Fonte: DSG, 1964-1966

mundial que se reestrutura mediante uma nova divisão do trabalho, valorização do espaço local e, neste contexto, redefine a produção e a função do espaço, consolidando-se numa região especializada no agronegócio, na produção de carne bovina, juntamente com a atividade turística, adequando-se aos novos padrões de competitividade do mundo globalizado, o que gradativamente tem contribuído para o avanço da vulnerabilidade ambiental na região, e a maior repercussão socioespacial dos eventos, sobretudo os decorrentes do extremo climático se processa no espaço urbano da cidade de Aquidauana.

O presente excerto aborda consideração acerca das características geoambientais do rio Aquidauana; ressalta alguns meandros na produção do espaço urbano da cidade de Aquidauana; enfatiza aspectos dos espaços vulneráveis aos eventos climáticos extremos na cidade de Aquidauana-MS.

1. O Rio Aquidauana

“Se há rio formoso no mundo é o rio Aquidauana.

Cortando parte do distrito mais meridional de Mato Grosso e con-fluente do Miranda, que conserva ainda o apelido guaicuru de Mbotety e fora pelos portugueses batizado Mondego - tão belo lhes parecera à saudosa mente - nasce o Aquidauana de vertentes afastadas da grande serra de Maracaju ou Amambaí.” (TAUNAY, 1921: 7).

O rio Aquidauana nasce no altiplano da serra de Maracaju, precisamente no município de São Gabriel do Oeste. Sua mais alta cabeceira é o córrego Água Limpa, recebendo ao longo de seu percurso tributários até a sua confluência com o Rio Miranda.

Da última corredeira, logo a jusante da ponte Roldão Carlos de Oliveira (ponte velha) mais precisamente na confluência do córrego João Dias, o rio Aquidauana penetra na planície do pantanal sul-mato-grossense. Aí suas águas límpidas e mansas banham as cidades irmãs Anastácio e Aquidauana. Em seu leito sinuoso, desliza suavemente serpenteando entre as matas de suas margens e penetra pela planura do pantanal. Daí, o rio direciona no rumo norte noroeste (NNW) até o Retiro Itacarú, e deste, segue ao rumo WNW até a foz do Rio Vermelho; daí segue ao rumo sudoeste até encontrar o rio Miranda.

Neste trajeto, o rio possui um arranjo de drenagem do tipo meandrante, onde apresenta voltas que, rompidas, são abandonadas originando grandes baías, em formato de círculos, às vezes com leito lineares que são verdadeiro berçário para a reprodução de animais e plantas aquáticas. O rio Aquidauana, à medida que adentra na planície pantaneira, avoluma-se com a tributação das águas dos córregos Buriti, Eugênio, Ingá à margem direita e Acôgo, Vazante Grande, Agachi, da margem esquerda.

Em ambas as margens destacam-se enormes lagoas (baías), algumas bem conhecidas pelos afeiçoados da pesca, nela há uma riqueza de faunística, em suas bordas marginais são cobertas por uma vegetação predominante de mata ciliar com espécies típicas dos gêneros *Alchomea* (gurupiá), *Celtis* (sarã), ingá e *Anadenanthera* (angico-branco) (SANTOS *et al.*, 2012). As baías mais conhecidas são Baías do Acôgo, Baiazinha, na margem esquerda e na margem direita, Bahia do Jacaré, Baía Grande. É interessante destacar que nos estornos dessas grandes massas de água aprisionada se encontra uma área de transição constituída de uma fisionomia florística de cerrado.

Seus diques marginais, construídos pela deposição de materiais arrastados, basicamente areia, formam ribanceira íngreme e escavada pela força das águas oriundas das chuvas torrenciais de verão, onde povoam milhares de espécies de vegetações. Todavia, duas espécies destacam-se, uma árvore do gênero *Celtis* (sarã) e uma espécie de gramíneo gênero *Guadua* Kunth, denominada (taquaruçu). Tais vegetações ciliares protegem e favorecem uma situação estática contra o desbarrancamento. Além disso, essa vegetação abundante evidencia uma característica peculiar das margens do rio Aquidauana.

O taquaruçu ocorre próximo aos cursos de água, nas matas de galeria, tendo uma adaptação a curtos períodos de inundação e não é encontrado em outras fitofisionomias (CASTRO E SILVA *et al.*, 2006).

Segundo TÔMAS *et al.* (2013: 5), em trabalho de pesquisa realizado no trecho descrito, que a partir dos 15 quilômetros a jusante do Porto Ciriaco, as margens do rio Aquidauana, “[...] quase não há barrancos expostos, e os existentes quase nunca chegam a 1 m de altura. Em grande extensão, a água ainda cobria o dique aluvial durante o levantamento de tocas. Tal aspecto é mais marcante no trecho em que o rio atravessa a borda Sul do brejo do rio Negro. A vegetação é marcada por buritizais (*Mauritia flexuos*) e extensas formações de vegetação paludícola. As matas ciliares ocorrem em pequenas manchas isoladas” (TÔMAS *et al.* 2013: 5). “Rola por sobre um leito de alvíssimas areias ou rochas de grés vermelho, trabalhadas nas margens tão singularmente pelo constante perpassar das águas, que parecem todas aquelas linhas, desenhos, gregas e arabescos terem sido traçados, em horas de capricho, por algum ciclôpeo e misterioso escultor, que não sabia como desperdiçar o tempo” (TAUNAY, 1921: 8).

Ao adentrar a cidade, o rio Aquidauana, que leva o mesmo da cidade, já deixou o planalto, mas ainda não alcançou as terras baixas. Com 286 quilômetros desde a nascente na Serra de Maracaju-Campo Grande até a área urbana da cidade de Aquidauana, segundo Brasil (1974), suporta as águas procedentes dos seus principais afluentes, Rio Cachoeirão, Rio Taquaruçu e Rio Dois Irmãos (braço esquerdo e direito), e ainda recebe as águas do Ribeirão Corguinho, Rio Salobra, Vermelho e Jatobá, e dos Córregos Carrapato, São João, Salobra, Canastrão, Ceroula e Guanandy (*Cartas Topográficas* do DSG, 1964-1966).

Estes afluentes transportam as águas provenientes das precipitações ocorridas sobre as sub-bacias hidrográficas do Rio Aquidauana com destino à região do Pantanal. Porém, ao adentrar a área urbana sede do município, a seção transversal do canal, além de sofrer uma significativa redução, recebe o volume de água superficial dos córregos Guanandy, Sangradouro da Lagoa Comprida e João Dias, oriundo das descargas pluviais que, por efeito da gravidade, se desloca dos pontos mais altos da cidade em direção ao rio Aquidauana e desencadeia um quadro da problemática socioambiental para a cidade representado, principalmente, nos aspectos do extremo climático, uma vez que a expansão urbana se deu em áreas ribeirinhas com baixa altimetria, gradativamente intensificada, contribuindo para o aumento da vulnerabilidade socioespacial.

1.1. Aspectos geoambientais

O Pantanal consolida-se como a maior planície contínua de inundação no Brasil detendo uma superfície “138.183 km²”, “sendo sete municípios no Estado de Mato Grosso, ocupando 35,36% da área do Pantanal, e nove municípios no Estado de Mato Grosso do Sul, ocupando

64,64% da área” (SILVA e ABDON, 1998: 1703). Encontra-se situado em “Região constituída por uma extensa superfície de acumulação, de topografia bastante plana, oscilando entre 80m e 150m[...]” (SEMAC, 2011: 222), inserido na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP). Com ecossistema único, possui inúmeras espécies de animais, muitos deles ameaçados de extinção.

Localizado na região Centro-Oeste do Brasil, o Estado do Mato Grosso do Sul, conforme Figura 2, destaca-se pela região de planalto onde se localizam as principais cabeceiras hidrográficas, e a planície sujeita a áreas de inundação, que se caracteriza pelo baixo índice de declividade, de 1 a 3 cm/km do norte para o sul e de 3 a 15 cm/km, de leste para oeste (Brasil, 1974). Portanto, os rios, quando chegam nesta região, possuem baixa capacidade de transporte de água, e possibilitam que o fluxo extravase com grande frequência para o leito maior (PCBAP, 1997).

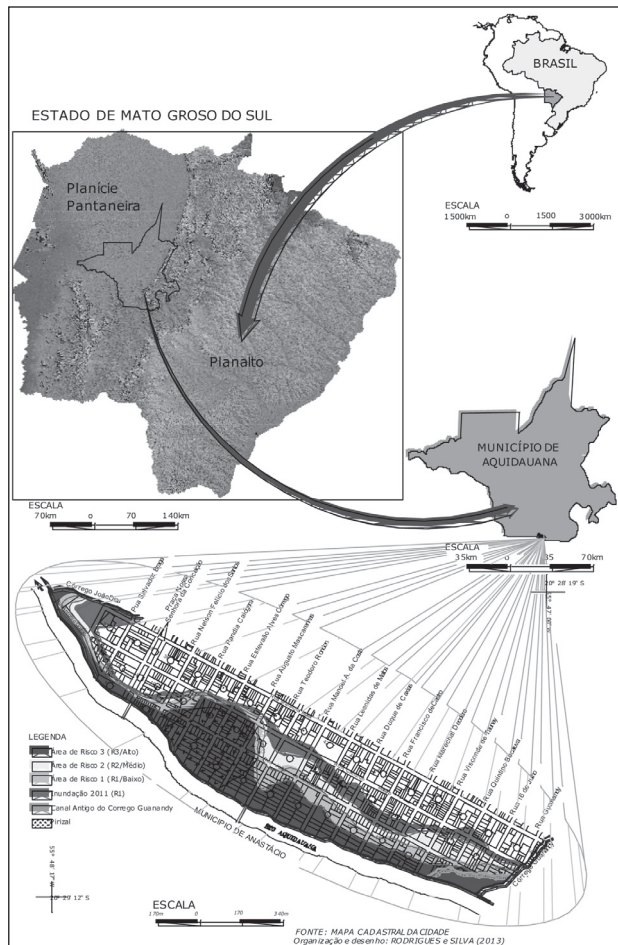


Figura 2
Cidade de Aquidauana localizada no início da planície pantaneira.

A Geomorfologia do município de Aquidauana caracteriza-se pela região dos Planaltos da Borda Ocidental da Bacia do Paraná, região da Depressão do Alto Paraguai, e região do Pantanal Mato-Grossense, conforme Figura 2.

Com relação às características climáticas regional de Aquidauana-MS, Sant`Anna Neto (1989) ressalta que apresenta períodos sazonais definidos pelo inverno seco e verão chuvoso e atuação das massas de ar Equatorial Continental (Ec), Tropical Continental (Tc), Tropical Atlântica (Ta) e Polar Atlântica (Pa). A fisionomia de tropicalidade da área é evidenciada no ciclo sazonal da distribuição das temperaturas que se resume em duas estações bem definidas. A primeira de abril a setembro em que as temperaturas médias variam entre 20,71 °C e 24,54 °C, e a segunda de outubro a março em que as temperaturas médias oscilam entre 25,87 °C e 29,98 °C, mantendo-se dentro dos padrões de amplitudes modestas, características das regiões intertropicais.

A precipitação pluviométrica apresenta grande variabilidade, sendo que o maior volume desse elemento resulta de processos de meso e macro escala, principalmente de invasões da frente Polar Atlântica, pois a localização da cidade propicia ser um campo de alternância entre sistemas tropicais e polares. A sazonalidade das chuvas na região mostra maior concentração de precipitação acumulada nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março que representam o verão, podendo chegar a 49,2 % da precipitação média anual. O período com os maiores índices de precipitações pluviométricas se relaciona à primavera-verão, onde as temperaturas estão mais elevadas ultrapassando a marca dos 30 °C nos meses de fevereiro, março, outubro e dezembro.

Associada a tais fatores, ocorre também a zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que pode ser identificada como densa nebulosidade com orientação Noroeste/Sudeste, a qual se estende no Brasil desde o sul da Amazônia até a região central do Atlântico Sul e influencia na posição geográfica de Mato Grosso do Sul, provoca os extremos climáticos observáveis particularmente nas ocorrências de chuva em excesso e que, somada a uma inadequada estrutura de uso e ocupação do espaço, se converte em materialização de desastres.

Quando se iniciou o processo de urbanização na cidade de Aquidauana em 1892, não havia registros relacionados ao excepcionalismo climático, uma vez que o índice de crescimento populacional se apresentava reduzido. Eram instalados em áreas vulneráveis, porém a densidade de uso e ocupação do espaço apresentava suporte de carga.

Com a intensificação dos aspectos de urbanização, os agravantes de enchentes, alagamentos e inundação na cidade têm-se manifestado com maior frequência, sobretudo inerentes a período sazonal de maior precipitação, ocasião em que a população residente no espaço mais próximo ao rio se sente apreensiva quanto ao risco de inundações.

2. Origem e evolução da cidade de Aquidauana

Historicamente o início do povoamento de Aquidauana data de 15 de agosto de 1892 conforme NEVES (2007), mas historiadores garantem que os primeiros colonizadores da região teriam sido os espanhóis, por volta do século XVI. Visconde de Taunay, de 1866 a 1867, passou pelo local, juntamente com a Coluna que saiu do Rio de Janeiro com o intuito de participar da Guerra da Tríplice Aliança (1865-1870). “Aos 15 dias do mês de Agosto de 1892 reunidos,

a convite do cidadão Theodoro Rondon, nesta margem direita, do Rio Aquidauana, lugar denominado São João da Boa Vista, sob a sombra de um acuri o mesmo Rondon em boa alocação expoz aos presentes que o fim da reunião para o qual os havia convidado, era assentar as bases da fundação do povoado em projeto para cujo fim fora por ele feito a aquisição do terreno por compra do cidadão João Dias Cordeiro e por meio da subscrição que conheceis, pelo que convidava as pessoas presentes a apresentar o plano da fundação a fim de ser discutido e afinal adaptado para o início de sua execução” (NEVES, 2007: 82).

Marcando assim presença neste território antes da comitiva comandada pelo major Teodoro Paes da Silva Rondon, que trouxe em sua companhia em torno de 40 cidadãos entre fazendeiros e outros interessados oriundos da Vila de Miranda e região, cujo objetivo era fundar um povoado em terras mais altas que tivesse a vantagem de estar junto ao rio e pudesse estabelecer comunicação por terra com Nioaque e a incipiente vila de Campo Grande, visto que, no Pantanal o ciclo das águas se dá a partir do mês de outubro quando se inicia o período das chuvas prolongando até março o que impossibilitava a ligação via terrestre isolando as “Vilas” existentes.

A opção pelo nome “Aquidauana” não está bem clara, mas muitos pesquisadores revelam a influência da cultura indígena em várias regiões de Mato Grosso do Sul, o nome do rio “Aquidauana” aparece nas cartas topográficas utilizadas pelos militares em 1866, segundo TAUNAY (1929).

Theodoro Rondon e o Coronel João d’Almeida Castro acumularam as funções fiscais do incipiente povoado, organizando seus estatutos e dando as devidas providências para que o novo porto fosse ocupado. A partir de 1895 o povoado já dava os primeiros sinais de prosperidade com a inauguração da escola pública, destacamento do exército e da Polícia. O povoado transformou-se e adquiriu *status* de município em 1907 e foi crescendo em torno das margens esquerda e direita e do rio Aquidauana. NEVES (2007: 91) retrata “E, finalmente em 1912, a 21 de dezembro, ocorreu um dos fatores mais importantes para o crescimento de Aquidauana: foi inaugurada a estação estrada de ferro Noroeste do Brasil que ligava a Vila a Porto Esperança [...]”, consolidava-se o processo de crescimento da vida urbana.

SILVA e JOIA (2001) relatam que o loteamento expressivo das margens do rio Aquidauana se deu início em janeiro de 1956, no sentido oeste para leste da cidade, na área que parte da Praça Nossa Senhora da Imaculada Conceição até a antiga Rua 13 de Junho, hoje denominada Rua Francisco de Castro, esta corresponde a uma Área de Preservação Permanente (APP).

De acordo com JOIA (2005), na década de 1940 a população da cidade era de aproximadamente 5.000 habitantes e os arruamentos não tinham sofrido o processo de pavimentação.

O processo histórico de urbanização e expansão territorial da cidade de Aquidauana, paulatinamente, gerou a escassez, ou até mesmo provocou a destruição ou empobrecimento da qualidade de vida dos cidadãos, uma vez que influenciou os aspectos ambientais, especialmente relacionados ao uso e ocupação do e no espaço repercutido nas inundações. A forte transformação do quadro natural contribui significativamente para o entendimento dos impactos advindos do excepcionalismo climático, e na diminuição da capacidade da população em absorver os efeitos.

A ação dos diversos agentes sociais produtores do espaço contribuiu e contribui para a ocupação de áreas de risco. A ineficácia no planejamento por parte do Estado, através do

loteamento da margem do rio Aquidauana, potencializou a ocupação de um local inapropriado para uso residencial, criando dessa forma, um espaço com grandes problemas de inundações. Os proprietários fundiários, promotores imobiliários também contribuíram para potencializar o risco de inundações, tendo em vista que os proprietários fundiários converteram um espaço rural em urbano e os promotores imobiliários trabalharam para a valorização do mesmo.

3. Área de risco e vulnerabilidade climática na cidade de Aquidauana

A expansão territorial urbana da cidade de Aquidauana, o planejamento ineficiente e as intervenções, sobretudo a partir da década de 1950, estiveram em descompasso com o desenvolvimento local. Observa-se que a ação dos diversos agentes sociais produtores do espaço contribuiu e contribui para a ocupação de áreas de risco potencializando a ocupação de um local inapropriado para uso residencial. Cria-se, dessa forma, um espaço vulnerável a episódios de inundações, conforme Figura 3.

Para melhor entendimento da problemática relacionada à área de risco da “Zona Ribeirinha” da área urbana de Aquidauana, recorreu-se ao Glossário da Defesa Civil, no qual CASTRO (2010) conceitua:

Risco: Relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinado se concretize e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos.

Vulnerabilidade: Probabilidade de uma determinada comunidade ou área geográfica ser afetada por uma ameaça ou risco potencial de desastre, estabelecida a partir de estudos técnicos.

Grupo Vulnerável: Grupo de indivíduos de uma população, como crianças, grávidas, mães, idosos, enfermos, habitantes de áreas de risco, desnutridos e outros, que apresentam pré-condições para terem intensificados os danos, em caso de desastre (CASTRO, 2010, grifo nosso.).

O condicionante natural para classificação da zona de área de Risco 3 (Alto/R3), foi a topografia do terreno em que estas residências estão estabelecidas, com cotas abaixo de 141,00m, agravado pelo inadequado uso e ocupação do solo, com moradias muito próximas da barranca do rio Aquidauana. Especificamente na região que margeia a Ilha dos Pescadores, o quadro é agravado pela retificação do curso do Córrego Guanandy, onde a elevação dos índices pluviométricos causa alagamentos. A população localizada nos espaços denominados de R3 tem como agente deflagrador de risco para essa área a chuva rápida em que se conjugam quatro variações: duração, tempo, intensidade e quantidade.

A população que ocupa a margem direita do Córrego Guanandy próxima a Ilha dos Pescadores, parte das ruas João Almeida de Castro, Visconde de Taunay, Marechal Deodoro, Francisco de Castro, Duque de Caxias, Leônidas de Matos, Manoel Aureliano da Costa e Teodoro Rondon; parte do Pirizal (Fazendinha), rua Antônio Cicalise e margem esquerda do Córrego João Dias próximo à Polícia Ambiental encontra-se sujeita a alagamentos, enchentes e inundações. Portanto, estes indivíduos habitam 40% das construções que estão mais vulneráveis aos transtornos causados pelos extremos climáticos, inclusos na classificação Área de Risco 3 (R3), e já ficaram desabrigados diversas vezes, conforme Figura 4.

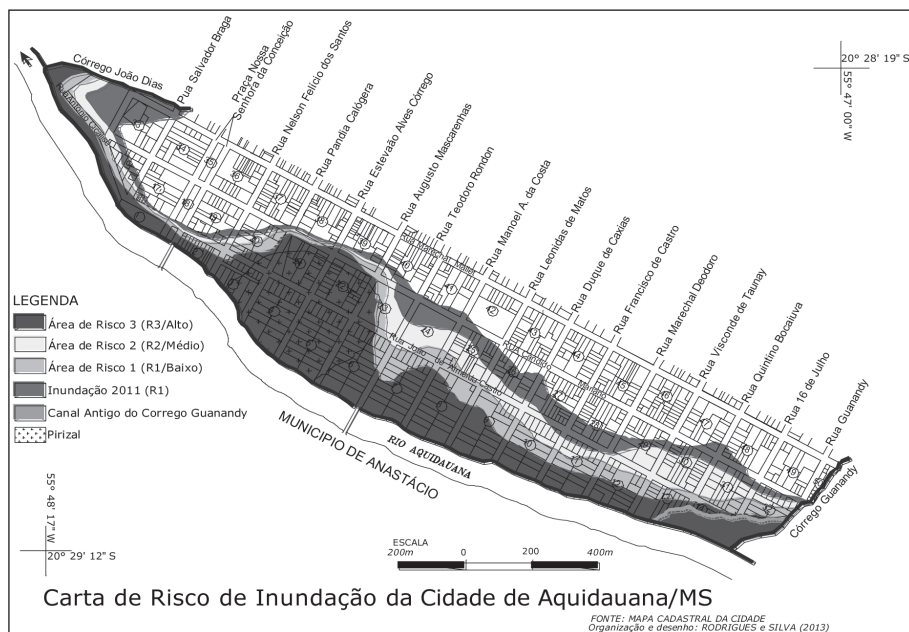


Figura 3
Carta de risco de inundação da cidade de Aquidauana

A zona R2 é delimitada pelas ruas perpendiculares ao rio Aquidauana. Na primeira quadra acima da rua João de Almeida Castro a área sujeita aos alagamentos e enchentes são as ruas 16 de Julho e Manoel Aureliano da Costa.

As ruas paralelas sofrem de modo pontual o evento. A Rua Cândido Mariano é atingida na esquina com Leônidas de Matos, nas proximidades do Pirizal e da Polícia Ambiental, porém a rua João Almeida de Castro está incluída no R2, pois onde as casas não são atingidas, cotas superior a 142,00m, os transtornos vivenciados restringem-se a transição de veículos, situação incidente nas duas pontes que dão acesso à malha urbana.

Para classificação da zona correspondente ao Risco 1 (Baixo ou sem risco/R1) o condicionante é a topografia, com cotas máximas de 143,5m e, como agente deflagrador, a precipitação. Mas é preciso ressaltar que os moradores desta área não vivem em áreas de risco. Essa população é atingida esporadicamente quando a água do rio Aquidauana e dos Córregos Guanandy e João Dias não são comportadas pelo leito maior devido ao escoamento proveniente da precipitação local, somado aos excessos pluviométricos do alto e médio curso da bacia hidrográfica.

A zona delimitada como área R1 é atingida quando o volume das águas da vasta planície pantaneira, formada por baixas cotas, se sente impossibilitada de prosseguir o curso natural devido ao aumento da magnitude das águas que, sem ter mais para onde escoar, voltam para o nível de base, freando as águas de montante. Situação materializada no referido espaço na inundação atípica de abril de 2013, quando a régua do rio Aquidauana marcou 9,45 m, conforme Figura 4.



Figura 4

Inundação atípica de abril de 2013.

Fonte: Fernandes, 2013.

Ressalta-se que, no ano de 2011, o nível das águas chegou a 10,00 m, de acordo com a Sala de Situação da Agência Nacional de Água (ANA, 2011). Dezenas de famílias residentes na área de risco tiveram suas casas invadidas pelo canal fluvial, e permaneceram desabrigadas e desalojadas por mais de uma semana, até a água do rio voltar para seu leito menor, conforme Figura 5.

A população situada na área de risco R3 é composta por estrato social de menor poder aquisitivo, uma vez que nesta região o valor do aluguel é baixo e há pouca possibilidade de comprar um terreno ou casa própria com preços de mercado adequados ao orçamento familiar. A população residente no espaço considerado R2 foi induzida pelo poder público ao erro, visto que esta área destinada a APP foi loteada na década de 1950 pelos gestores locais vigentes. Os moradores das localidades atingidos por R1 têm suas moradias esporadicamente atingidas pelo desdobramento dos processos de assoreamento, desmatamento, aterramento e de drenagem urbana ineficaz, o que potencializa o alcance destas residências pelas águas do rio Aquidauana, quando estas atingem índices fora do normal. “Quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoar para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento. O excesso do volume que não consegue ser drenado ocupa a várzea inundando de acordo com a topografia das áreas próximas aos rios. Estes eventos ocorrem de forma aleatória em função dos processos climáticos locais e regionais” (Tucci, 2003: 45).



Figura 5

Episódio de inundação na cidade de Aquidauana/MS em março de 2011 quando a cidade ficou isolada por quatro dias.

Fonte: MORO, 2011.

A população de Aquidauana, desde sua fundação, convive com as inundações sazonais do rio Aquidauana. Alguns moradores padecem com a problemática a mais de 50 anos, o que justifica a resiliência que influenciou na gradativa ocupação das margens do rio e dos córregos da cidade. Os condicionantes geológico-geomorfológicos da “Zona Ribeirinha” do rio Aquidauana têm papel determinante no processo de inundação da área urbana da cidade, onde a margem encontra-se com cotas que variam de 139,00 a 140,00m e não comporta na sua caixa a grande vazão oriunda de excessos pluviométricos sazonais que atingem o alto curso da bacia hidrográfica do rio Aquidauana e região. Os extremos climáticos associados aos condicionantes da área potencializam a magnitude das inundações, levando a cidade ao isolamento.

ROBBA (1992) *apud* SILVA e JOIA (2001) destacam que a cidade de Aquidauana convive com os problemas de inundação há muitos anos, e os meses de dezembro a março constituem período de muitas chuvas, quando parte ribeirinha da cidade ficava inundada desalojando centenas de famílias.

É possível identificar riscos de inundação associados às habitações na cidade de Aquidauana, classificados em R1-Baixo, R2-Médio, R3-Alto, a partir das instruções do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2007) sobre mapeamento de riscos em encostas e margens de rios.

Ao atingir o leito sazonal, as cheias que ocorrem regularmente atingem a população de Risco 3. Por sua vez, o leito excepcional compreende o espaço ocupado pelas águas com

frequência irregular, e nesta região encontra-se a população de Risco 1. Das 150 moradias analisadas, 40% estão em setores de R3 (Alto). A grande maioria, 60% das famílias, vive em setores de R2 (Médio) e R1(Baixo).

Considerações finais

Este estudo revelou evidências entre o uso inadequado do solo urbano na “Zona Ribeirinha”, na manifestação de episódios advindos de eventos climáticos extremos, associado a compartimentação morfológica, pedológica da área além da infraestrutura e equipamentos urbanos.

A expansão territorial urbana, o planejamento ineficiente e as intervenções, sobretudo a partir da década de 1950, estiveram em descompasso com o desenvolvimento local. Observou-se, através das entrevistas realizadas com segmentos da população, que a funcionalidade urbana, a intensificação das atividades representativas da vida da cidade e a distribuição diferenciada nos tipos de uso do solo refletiram condições que ampliaram a incapacidade da população em absorver os efeitos extremos do clima.

Cabe ressaltar que o processo de produção do espaço urbano da cidade de Aquidauana, aconteceu anteriormente num contexto histórico diferente da atualidade, mas acontece à reprodução do espaço urbano e os agentes sociais produtores do espaço trabalham com os mesmos objetivos do passado, que é a valorização estética e mercadológica do espaço. Portanto, é fundamental que o Estado atue de maneira efetiva no sentido de manter preservadas as áreas vulneráveis aos riscos, de modo a impedir a ocupação humana e não ceder às pressões de grupos com maior poder aquisitivo.

Considera-se que a topografia encontrada na área estudada, entrada da planície pantaneira, com o núcleo urbano inserido às margens do rio Aquidauana, aliados ao uso e ocupação indevida do solo sejam os fatores condicionantes para as inundações sazonais que se processam na cidade. O agente deflagrador destes eventos está associado ao excesso no índice pluviométrico ocorrido no Mato Grosso do Sul decorrente da influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

A elevação do nível do rio Aquidauana em 5,00m do seu nível normal de 3,00m já suscita alagamentos e transtornos a população ribeirinha. Ao atingir 9,00m, provoca enchente que abrange um maior quantitativo de residências, e quando ultrapassa esta marca acarreta inundações em toda a Zona Ribeirinha, impactando as áreas urbana e rural. Quanto maior a vulnerabilidade da população suscetível às inundações, maior é o grau de risco que estão propensas a sofrer. Os habitantes das áreas R3 e R2 estão expostos a danos de toda ordem e natureza.

Intervenções urgentes fazem-se necessárias na execução de medidas estruturais e não estruturais mais adequadas a curto, médio e longo prazo, no sentido de reduzir os transtornos causados pelas inundações do rio Aquidauana.

Dessa forma, tornam-se plausíveis a precaução e a fiscalização nas ações de todos os agentes sociais produtores do espaço, principalmente as relativas ao seu uso e ocupação. São necessários esforços conjuntos com vistas a superar o alarmante quadro de desigualdade na produção do espaço urbano, e a situação de penúria em que se encontra grande parcela da humanidade e o meio ambiente, vulneráveis a materialização dos desastres.

Bibliografia

- CALHEIROS, D. F.; FERREIRA, C. J. A. (1996) - *Alterações limnológicas no rio Paraguai ("dequada") e o fenômeno natural de mortandade de peixes no Pantanal Mato-Grossense* - MS. Boletim de Pesquisa, 7, EMBRAPA - CPAP, Corumbá-MS, 51 p.
- Cartas Topográficas Escala 1:100.000* (1964-1966). Rio Negro Folha SE-21-Z-D-II, Camapuã Folha SE-21-Z-D-VI; Serra de Maracaju Folha SE-21-Z-D-IV; Rochedo Folha SE-21-Z-D-V; Alegria Folha SE-21-Z-C-VI; Porto Ciriaco Folha SE-21-Z-C-V; Barranco Vermelho Folha SE-21-Z-C-IV; Campo Grande Folha SF-10-B-II; Palmeiras - Folha SF-10-B-I; Aquidauana - Folha SF-21-10-A-III; Miranda - Folha SF-21-10-A-II; Sidrolândia - Folha SF-21-10-B-V; Rio Dois Irmãos - Folha SF-21-10-B-IV; Ribeirão Taquaruçu - Folha SF-21-10-A-VI; Rio Serrote Folha SF-21-10-D-I; Nioaque - Folha SF-21-10-C-III. Diretoria do Serviço Geográfico do Exército - DSG, Rio de Janeiro.
- CASTRO, A. L. C. de - *Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres* [pdf]. Disponível: <http://ebookbrowse.com/glossario-de-defesa-civil-estudos-riscos-e-medicina-de-desastres-pdf-d127565511>. [22.04.2013].
- CASTRO E SILVA, R. M. de et al. (2006) - "Caracterização da planta e do ambiente de ocorrência na bacia do rio Crixás-Açú, Goiás, Brasil". In: *Anais do 1º Seminário Nacional de Estruturação da Rede de Pesquisa e desenvolvimento do Bambu*. Brasília - DF.
- "Enchente e inundação". In: *Vulnerabilidade ambiental - desastres naturais ou fenômenos induzidos?* (2007). MMA - Ministério do Meio Ambiente, Brasília - DF, pp. 96-106.
- "Estudos hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai (Região do Pantanal, Estado do Mato Grosso)". In: *Relatório Técnico UNESCO/PNUD (1966 - 1972)* (1974), BRASIL, Ministério do Interior: Departamento Nacional de Obras de Saneamento.
- JOIA, P. R. (2005) - "A origem e evolução da cidade de Aquidauana-MS". *Revista Pantaneira*, Aquidauana, Volume 7., pp. 34-49;
- Mapa do Mato Grosso do Sul, Escala 1: 1.000.000*. IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, Brasília - DF.
- Mato Grosso do Sul* (2011). Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento e de Ciência e Tecnologia. SEMAC/MS. Caderno Geoambiental das Regiões de Planejamento do MS. Campo Grande MS.
- NEVES, J. (2007) - *Um Porto Para o Pantanal: a fundação de Aquidauana: civilização e dependência*. Editora UFMS, Campo Grande MS.
- PCBAP - *Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai, 1997, Projeto Pantanal* (1997), vol. 2, Programa Nacional de Meio Ambiente - PNMA, Brasília/DF.
- SANTOS, R. A. et al. - *Aspectos históricos e utilização do Horto Florestal Toti Garcia, Cuiabá - Mato Grosso: uma abordagem para a educação Ambiental* [html]. Disponível http://www.ufmt.br/revista/arquivo/rev10/aspectos_historicos_e_utilizacao.html [10.05.2013].
- SILVA, J. dos S. V. da e ABDON, M. de M. - "Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões". *Pesquisa Agropecuária Brasileira - PAB*, Brasília, v.33, Número Especial, p.1703-1711, out. 1998 [pdf]. Disponível: [http://webnotes.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/dfe523788c4d9ae503256508004f34ca/71e1bfe8423c820325687e0047c590/\\$FILE/073-pant.pdf](http://webnotes.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/dfe523788c4d9ae503256508004f34ca/71e1bfe8423c820325687e0047c590/$FILE/073-pant.pdf) [27.04.2013].
- SILVA, J. F. e JOIA, P. R. (2001). Territorialização e impacto ambiental: um estudo da zona ribeirinha de Aquidauana-MS. *Revista pantaneira*, Aquidauana (MS), v.3, nº 1, p. 17-30.
- TAUNAY, A. d'E. (1921). *Viagem de outrora*. Companhia Melhoramento de S. Paulo, Cayeiras, S. Paulo e Rio de Janeiro, 162p.

TOMÁS, Walfrido; BORGES, Paulo André Lima; ROCHA, Helen José Florez, FILHO, Ronaldo Sá; KUTCHENSKI JÚNIOR, Fernando e UDRY, Tiago Villafaine - *Potencial dos rios Aquidauana e Miranda, no Pantanal de Mato Grosso do Sul, para a conservação da ariranha. (Pteronura brasiliensis)*. [pdf] Disponível: <http://www.cpap.embrapa.br/agencia/congresso/Bioticos/TOMAS-073.pdf> [10.5. 2013].

Treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações (2004). Ministério das Cidades, Brasília.

TUCCI, Carlos E. M. (2003) - “Inundações e Drenagem Urbana”. In: TUCCI, Carlos E. M. e BERTONI, J. C. (Org.) - *Inundações urbanas na América do Sul*. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, pp. 45-129

UCDB (2004) - *Bacia Hidrográfica do Rio Miranda: estado da arte*. Instituição Salesiana de Educação Superior. Campo Grande, 2004.